

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Título da Dissertação:

**Fiabilidade e Gestão Soft da Manutenção das Fragatas
da Classe Vasco da Gama**

Por:

Emanuel Vaz Néri

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a
obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Doutor José António Mendonça Dias

Co-Orientador:

Engenheiro Cunha Salvado

Lisboa

2010

“Quando a Manutenção tosse, toda a Empresa se constipa”
(Cuignet, Renaud, 2006)

Agradecimentos:

Gostaria desde já de agradecer a todas as pessoas que ajudaram à concretização de todo este trabalho. Não poderei mencionar todas elas, no entanto quero relembrar que não foram esquecidas, e o seu contributo será para sempre lembrado.

Um enorme agradecimento ao Professor José António Mendonça Dias, por toda a orientação científica. Agradeço toda a compreensão, empenho e disponibilidade que mostrou, pois foram contributos essenciais para continuar e terminar este trabalho.

Agradeço desde já ao Almirante Cunha Salvado, pois sem ele seria impossível entrar em contacto com a Direcção de Navios da Marinha, de modo a obter todos os dados analisados ao longo deste trabalho. Ainda nesta mesma Direcção, os meus sinceros agradecimentos ao Eng. Reboxo Antunes, por toda a paciência demonstrada, pela ajuda no conhecimento dos diversos equipamentos que compõem os navios da Classe Vasco da Gama, assim como de todos os processos de manutenção existentes na Marinha. Ao Eng. Marques da Costa, pela profunda ajuda no conhecimento do SICALN (base de dados informática da Marinha), pela paciência demonstrada para retirar imensas dúvidas provindas dos dados deste programa. Por fim ao Tenente Agostinho, pela cooperação que mostrou de modo a possibilitar a aquisição de dados provenientes das Fragatas.

A todos os meus amigos, que me ajudaram, não só na realização deste trabalho, como na minha formação académica e humana ao longo destes anos. Um agradecimento especial ao Paulo Teixeira, pois com a sua ajuda e incentivo, foi possível realizar este trabalho.

Quero também agradecer a todos os colegas, funcionários e docentes do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Universidade Nova de Lisboa, por todo o apoio prestado ao longo destes anos.

Por fim, um enorme agradecimento à minha família, em especial aos meus pais, pois só com a ajuda deles foi possível terminar todo este processo de aprendizagem, que culminou neste trabalho.

Sumário

Neste trabalho, pretendeu-se analisar um conjunto de dados relativos à manutenção das fragatas da classe “Vasco da Gama” pertencentes à Marinha Portuguesa, no âmbito da Gestão da Manutenção e Fiabilidade.

A Marinha portuguesa contribui, entre outras missões, para o exercício dos poderes do Estado nos espaços marítimos sob jurisdição nacional, pelo que a Manutenção e a Fiabilidade dos meios existentes são determinantes para o eficaz cumprimento das missões da Marinha, contribuindo para a imagem global de credibilidade da Instituição.

Este estudo tem a duração de 1460 dias, tendo sido fornecido todo o registo de falhas dos navios da classe Vasco da Gama dentro deste período. Os dados necessários para a obtenção de resultados foram fornecidos pela Direcção de Navios. Os mesmos foram divididos em grupos, de acordo com a sua importância, de modo a se realizar uma análise mais aprofundada da fiabilidade de cada Fragata.

Inicialmente identificou-se a tendência da taxa de falhas para cada sistema ao longo do tempo através do Teste de Laplace e dos Processos de Poisson. Realizou-se uma análise dos valores de MTBF (*Mean Time Between Failures*) e da Fiabilidade de cada sistema do navio assim como da classe, tendo-se efectuado também uma Análise de Riscos recorrendo-se à tradicional teoria da Árvore de Falhas.

As várias dificuldades surgidas durante a análise dos dados permitiram concluir a ocorrência de erros na sua recolha e registo tendo-se, no âmbito do trabalho, identificado possíveis melhorias nos procedimentos em vigor, que irão permitir, no futuro, ter uma base de dados mais consistente e confiável.

Por fim, procedeu-se a um estudo qualitativo, com vista a poder identificar um conjunto de acções a tomar no sentido de permitir uma melhoria do desempenho dos navios da classe “Vasco da Gama”.

Com este trabalho, pretendeu-se identificar os componentes mais críticos das Fragatas classe “Vasco da Gama”, e as metodologias e procedimentos que permitam uma futura recolha e registo de dados, que retrate da forma mais fidedigna possível, o real estado do material e que permita um tratamento mais acelerado dos mesmos.

Summary

In this study, it was proposed to make an analysis of a class of frigates from the Portuguese navy, the “Vasco da Gama” class, on the subject of Maintenance Management and Reliability.

The Portuguese Navy, bearing the responsibility for the enforcement of the authority of the State within the Maritime areas of its interest is an essential part of the security and defense system of Portugal. Thus safe, reliable and timely operation of their naval assets is critical for its Missions and maintenance and reliability are central to the successful accomplishment of the Missions of the Navy, therefore contributing to the image and prestige of the Institution.

This study covers a time span of 1460 days, having been used the entire record of failures of Class “Vasco da Gama” ships within this period. All data required was supplied by “Direcção de Navios” (Directorate of Ships) of the Portuguese Navy. Records were divided into major groups, to undertake a more thorough analysis of each frigate.

Initially trends of failure rate for each system over time were identified through the test of Laplace and Poisson processes. An analysis of MTBF values has been performed as well as estimates of the reliability values for each system as well as for the entire class. A risk analysis resorting to the traditional Fault Tree has also been performed.

Encountered number of inconsistencies was found during the processing of data, which showed errors in the process of collection and registering of data. Some means of possible improvements to avoid such errors were identified so that in future a more consistent and solid data base can be obtained.

A qualitative study to identify possible ways and procedures to accomplish all the above criteria and thus improve the current performance of the Class “Vasco da Gama” frigates has also been performed.

This work is intended to highlight the most critical components of frigates “Vasco da Gama”, and to identify the possibility of improving the process of data collecting and registering in a way that collected data will be truly representative of materiel condition and analysis can be made faster and reliable.

Índice

Capítulo 1	1
1.1 - Enquadramento do Estudo	1
1.2 - Objectivos da Dissertação	2
1.3 - Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2	6
2.1- Fiabilidade	6
2.1.1- Evolução da Fiabilidade	6
2.1.2- Definição dos Principais Conceitos	8
2.1.3- Sistema Reparável e Não Reparável.....	10
2.1.4- Análise estatística de Falhas	11
2.1.5- Taxa de Falhas	11
2.1.6- Teste de Laplace.....	12
2.1.7-Processo Poisson	14
2.2.- Manutenção	19
2.2.1- Introdução	19
2.2.2- Evolução da Manutenção.....	19
2.1.2- Tipos de Manutenção	20
2.1.3- Políticas / Planos de Manutenção.....	22
2.1.4- Problemas da Manutenção	23
2.3- Análise de Risco	24
2.3.1-Introdução	24
2.4- Diagrama de Pareto.....	32
Capítulo 3	34
3.1- Introdução.....	34
3.2- História da Marinha Portuguesa.....	34
3.3- História da Classe Vasco da Gama	35
3.3.1- Subsistemas.....	38
3.4- Manutenção na Marinha.....	42
3.4.1- Sistema de Gestão de Manutenção - S.G.M.....	42
3.4.2- SICALN.....	48

3.4.3- Tipo de manutenção utilizado na Marinha.....	48
3.5- Conclusão	50
Capítulo 4	51
4.1- Introdução.....	51
4.2- Recolha de Dados	52
4.3- Apresentação Genérica da Recolha de Dados	53
4.3.1- Grupo 2.....	54
4.3.2- Grupo 3.....	63
4.3.3- Grupo 4.....	66
4.3.4- Grupo 5.....	70
4.3- Análise Geral	74
Capítulo 5	75
5.1- Introdução.....	75
5.2- Grupo 2.....	75
5.2.1- Fragata A	75
5.2.2- Fragata B.....	77
5.2.3- Fragata C.....	79
5.3- Grupo 3.....	81
5.3.1- Fragata A	81
5.3.2- Fragata B.....	82
5.3.3- Fragata C.....	83
5.4- Grupo 4.....	84
5.4.1- Fragata A	85
5.4.2- Fragata B.....	86
5.4.3-Fragata C.....	87
5.5- Grupo 5.....	88
5.5.1- Fragata A	88
5.5.2- Fragata B.....	89
5.5.3- Fragata C.....	90
5.6- Demonstração da Classe.....	91
5.7- FTA e Fiabilidade dos Subsistemas das Fragatas Classe Vasco da Gama	94
5.7.1 – Introdução	94
5.7.2– Grupo 2	94
5.7.3– Grupo 3	96

5.7.4– Grupo 4	97
5.7.5– Grupo 5	98
5.7.6– Fiabilidade Total das Fragatas.....	99
Capítulo 6	100
6.1- Conclusão de cada subsistema	100
6.1.2- Grupo 2.....	100
6.1.3- Grupo 3.....	102
6.1.4- Grupo 4.....	102
6.1.5- Grupo 5.....	103
6.2- Conclusões das diferentes Fragatas.....	103
6.2.1- Fragata A	103
6.2.2- Fragata B.....	104
6.2.3- Fragata C.....	105
6.2.4 – Comparações finais.....	106
6.3- Propostas para futuros trabalhos	107
Capítulo 7	100
SICALN	100
7.1- Problemas da Extracção dos dados	100
7.1.1-Introdução.....	100
7.1.2- Mau Preenchimento.....	100
7.1.3- Correctamente Preenchido.....	105
7.2- Propostas de Melhoria no Sistema de Recolha de Dados.....	106
Capítulo 8	118
Referências Bibliográficas	118

Índice Figuras

Figura 2.1: Representação da Normal Reduzida (Fonte: Lampreia, 2005)	13
Figura 2.2: Sistemas com Taxas Crescentes, Decrescentes e Constantes de Falhas respectivamente (Fonte: Lampreia, 2005).....	14
Figura 2.3: Análise estatística da ordem cronológica das falhas. (Fonte: Gonçalves, 2005)	15
Figura 2.4: Classificação dos tipos de Manutenção	21
Figura 2.5: Exemplo de uma Árvore de Falhas (Fonte: Rausand, 2004)	29
Figura 2.6: Equações para um portão "OU" (Fonte: Moss, 1995)	30
Figura 2.7: Equações de Fiabilidade para portão "E" (Fonte: Moss, 1995)	31
Figura 2.8: Representação Árvore de Sucesso/Diagrama de Blocos (Fonte: Moss, 1995)	31
 Figura 3. 1 - a) e b) Imagens das Fragatas da Classe Vasco da Gama	38
Figura 3. 2 - Componentes do Sistema de Gestão de Manutenção (Fonte: ILMAT 512,1984) ..	45
Figura 3. 3 - Várias Inter-Ligações do S.G.M. (Fonte: ILMAT 512,1984).....	45
Figura 3. 4 - Funções do SRTD.....	46
Figura 3. 5- Explicação Número Funcional (Fonte: ILMAT 512,1984).....	47
 Figura 4. 1 - Transmissão de dados SRTD/ Fragatas (Fonte: ILMAT 512,1984)	52
Figura 4. 2 – Gráfico de Nº de Falhas em relação ao Tempo (Nº de Dias): a) antes do Tratamento de Dados; b) depois do Tratamento de Dados	53
Figura 4. 3 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Sistema Comando	55
Figura 4. 4 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor E.B.....	55
Figura 4. 5 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor B.B.....	56
Figura 4. 6 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina E.B.....	56
Figura 4. 7 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina B.B	57
Figura 4. 8 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Caixa Redutora E.B.....	57
Figura 4. 9 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Linha de Veio E.B.....	58
Figura 4. 10 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Sistema Comando	58
Figura 4. 11 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor E.B.	59
Figura 4. 12 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor B.B.....	59
Figura 4. 13 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina E.B.....	59
Figura 4. 14 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina B.B.	60
Figura 4. 15 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Caixa Redutora E.B.	60
Figura 4. 16 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Caixa Redutora B.B.....	61
Figura 4. 17 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Comando.....	62
Figura 4. 18 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do motor de E.B.....	62
Figura 4. 19 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do motor de B.B.....	62
Figura 4. 20 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 1.....	64
Figura 4. 21 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 4.....	64
Figura 4. 22 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 1.....	65
Figura 4. 23 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 4.....	65
Figura 4. 24 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 1.....	66
Figura 4. 25 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado.....	67

Figura 4. 26 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Comando e Controlo	68
Figura 4. 27 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Navegação.....	68
Figura 4. 28 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado.....	69
Figura 4. 29 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Comunicações Externas	69
Figura 4. 30 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado.....	70
Figura 4. 31 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo das Comunicações Internas	70
Figura 4. 32 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Arrefecimento das Câmaras.....	71
Figura 4. 33 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce	72
Figura 4. 34 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce	72
Figura 4. 35 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Arrefecimento das Câmaras.....	73
Figura 4. 36 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce	73
Figura 5. 1 – Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata A.....	76
Figura 5. 2 – Diagrama de Pareto dos Motores da Fragata A.....	77
Figura 5. 3 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata A.....	77
Figura 5. 4 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata B	78
Figura 5. 5 - Diagrama de Pareto dos Motores da Fragata B	79
Figura 5. 6 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata B.....	79
Figura 5. 7 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata C	80
Figura 5. 8 - - Diagrama de Pareto do Motor de EB da Fragata C	80
Figura 5. 9 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata C.....	80
Figura 5. 10 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata A	81
Figura 5. 11 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata A.....	82
Figura 5. 12- Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata B	82
Figura 5. 13 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata B	83
Figura 5.14 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata C	84
Figura 5. 15 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata C	84
Figura 5. 16 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata C.....	85
Figura 5. 17 - Diagrama de Pareto do Sistema de Navegação da Fragata A.....	85
Figura 5. 18 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata B.....	86
Figura 5. 19 - Diagrama de Pareto do Sistema de Ar Condicionado da Fragata B.....	86
Figura 5. 20 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata C.....	87
Figura 5. 21 - Diagrama de Pareto do Sistema de Comunicações Externas da Fragata C	87
Figura 5. 22 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata A	88
Figura 5. 23 - Diagrama de Pareto do Sistema de Produção de Água Doce da Fragata A.....	89
Figura 5. 24 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata B.....	90
Figura 5. 25 - Diagrama de Pareto do Sistema de Produção de Água Doce da Fragata B	90
Figura 5. 26 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata C.....	91
Figura 5. 27 - Diagrama de Pareto do Sistema de Combustível da Fragata C.....	91
Figura 5. 28 - Diagrama de Pareto dos Motores da Classe Vasco da Gama	92
Figura 5. 29 - Diagrama de Pareto de todos os Geradores Electrogéneos da Classe Vasco da Gama	93
Figura 5. 30 - Diagrama de Pareto do Sistema de Navegação da Classe Vasco da Gama	93

Índice de Figuras

Figura 5. 31 - Diagrama de Paretto do Sistema de Produção de Água Doce da Classe Vasco da Gama	94
Figura 5. 32 – Exemplo do Corte Mínimo Motor/ Motor da Árvore de Falha do Grupo 2.....	95
Figura 5.33 – Gráfico relativo à Fiabilidade a 2 Dias para cada Fragata da Classe Vasco da Gama	96
Figura 5. 34 - Fiabilidade a 2 Dias e respectiva Probabilidade do Eventos de Topo da Classe Vasco da Gama	98
Figura 5. 35 - Fiabilidade a 2 Dias e Probabilidade do Evento de Topo da Classe Vasco da Gama	98
Figura 5. 36 - Fiabilidade dos Sistemas que compõem a Classe Vasco da Gama	99

Índice Tabelas

Tabela 3.1 - Características Gerais das Fragatas da Classe Vasco da Gama	37
Tabela 3.2 - Características Bélicas das Fragatas da Classe Vasco da Gama Informação retirada de http://www.marinha.pt/PT/amarinha/meiosoperacionais/superficie/classevascodagama/Pages/NRPVascoDaGama.aspx	37
Tabela 5. 1 – Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata A	76
Tabela 5. 2 – Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata B	78
Tabela 5. 3 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata C	79
Tabela 5. 4 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata A	81
Tabela 5. 5 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata B	82
Tabela 5. 6 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata C	83
Tabela 5. 7 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata A	85
Tabela 5. 8 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata B	86
Tabela 5. 9 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata C	87
Tabela 5. 10 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata A	88
Tabela 5. 11 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata B	89
Tabela 5. 12 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata C	90
Tabela 5. 13 – Valores relativos aos Cortes mínimos do Grupo 2 da Classe Vasco da Gama	95
Tabela 5. 14 – Valores da Probabilidade do Evento de Topo do Grupo 2 de Cada Fragata	96
Tabela 5. 15 - Valores de Probabilidade dos diferentes cortes Mínimos para cada Fragata	97
Tabela 5. 16 – Valores de Probabilidade do Evento de Topo do Grupo 3 de cada Fragata	97

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento do Estudo

É um dado adquirido que sempre existiu e continua a existir uma enorme procura pela máxima eficiência dos equipamentos. Só será possível atingir este objectivo através das ferramentas colocadas à disposição pela Manutenção e pela Fiabilidade. É por esta razão que estas matérias são tão importantes para quem quer evoluir e estar apto a cumprir os desafios do futuro.

Com a entrada de Portugal na ONU e na Nato, a Marinha Portuguesa viu-se na necessidade de obter e manter meios capazes de responder às exigências das missões que, no âmbito dos compromissos assumidos pelo país junto daquelas organizações, lhe são exigidas. As limitações orçamentais impostas pela escassez de recursos financeiros disponibilizados à Marinha impõem uma gestão criteriosa dos meios existentes, para o que concorrem políticas de manutenção adequadas e modernas.

Em resultado dessas políticas a marinha tem conseguido manter níveis elevados de operacionalidade dos seus meios navais. A sustentação desses meios requer a continuação e a melhoria constante das doutrinas, e procedimentos em vigor sendo indispensável garantir a Fiabilidade e consequentemente a Disponibilidade de todos os componentes que constituem os meios de acção naval da Marinha.

Como se disse, a preocupação com os custos relativos à manutenção é cada vez maior em todos os sectores e instituições. Prolongar o ciclo de vida dos equipamentos a um custo reduzido é um dos objectivos fundamentais prosseguidos por empresas, operadores e instituições. Se por um lado a imobilização de um equipamento para uma Manutenção Preventiva pode trazer muitos custos, a paragem imprevista do mesmo equipamento pode provocar um prejuízo ainda maior. É este o ponto crítico que qualquer engenheiro terá que enfrentar quando aborda os temas de Manutenção.

O problema acima mencionado só poderá ser ultrapassado através da criação de planos rigorosos de Manutenção Preventiva, e pela contínua avaliação desses planos ao longo do ciclo de vida do equipamento. Assim, neste trabalho pretende-se obter um conjunto

de resultados de Fiabilidade e dos seus diferentes índices que permitam realizar uma avaliação rigorosa sobre os actuais planos de Manutenção.

Para a obtenção destes resultados, é necessário o conhecimento dos diversos equipamentos e do seu historial. É neste sentido que a recolha de dados se torna um elemento chave para atingir objectivo final: melhor relação custos vs benefícios.

Sem uma recolha de dados precisa, poderá estar a colocar-se todo um trabalho em causa, onde os resultados de Fiabilidade não são os correctos, levando a um plano de Manutenção errado que por sua vez encurta a vida de um equipamento. É neste âmbito que se insere este trabalho, ao permitir uma análise e melhoria da base de dados de manutenção existente na Marinha Portuguesa.

1.2 - Objectivos da Dissertação

Previamente à apresentação dos objectivos deste trabalho, é importante referir que os mesmos sofreram algumas alterações ao longo do trabalho, sendo a causa principal dessas alterações a quantidade e qualidade da informação disponível. Depois de várias visitas à Direcção de Navios e de algumas conversas mantidas com os vários responsáveis, chegou-se à conclusão que existiam objectivos difíceis ou impossíveis de alcançar. No entanto, esta impossibilidade direccionou o trabalho para outras áreas que não estavam dentro do inicialmente proposto mas que constituem importantes temas para trabalhos futuros deste género.

O trabalho insere-se na área da Fiabilidade e Gestão da Manutenção, tendo como base o estudo de uma Classe de Fragatas da Marinha Portuguesa a partir dos respectivos dados de manutenção recolhidos através do sistema de recolha em uso.

Em parte, esta continua a ser a área principal deste trabalho, o tratamento dos dados obtidos e recolhidos ao longo do tempo, e assim identificando os equipamentos e componentes em risco, dentro de cada fragata. Seguidamente foi realizada uma análise à classe e identificados os valores relativos de fiabilidade de cada navio da classe. Inicialmente foi efectuada a preparação e tratamento dos dados obtidos, para se submeterem às várias ferramentas da Fiabilidade. Pretendeu-se que os resultados finais não fossem afectados por incoerências, faltas ou erros por parte da base de dados. Um conjunto de metodologias e modelos estatísticos, denominados ferramentas da Fiabilidade foram utilizados.

Foi também pretendido que, depois de obtidos os valores anteriores, se conseguisse determinar o porquê de determinada tendência de taxa de falhas, identificando as causas de uma possível baixa fiabilidade e disponibilidade. Outro dos objectivos consistiu na

análise das causas que mais influenciam o comportamento dos componentes e dos sistemas durante o período do estudo. Contribuir com sugestões para a correcção das medidas preventivas a tomar ao nível dos componentes mais críticos do sistema e da Classe foi outro dos objectivos finais.

No entanto, depois de analisado a base de dados, foi possível perceber que não era possível concretizar inteiramente os objectivos iniciais, devido à pouca informação que os dados continham. Para cobrir esta falha, decidiu-se avançar para uma outra metodologia denominada Análise de Risco, mais propriamente o método da Árvore de Falhas. Este método vem demonstrar visualmente, que subsistemas compõem uma Fragata, e que relações de dependências existem entre elas. Com esta metodologia é também possível conseguir obter a probabilidade do efeito de topo, ou seja, o de um subsistema falhar e afectar toda a Fragata.

Para entender o que contribuiu para que a base de dados não fosse demonstrativa da realidade, foi acrescentado mais um objectivo, este fora do âmbito inicial, que consistiu no registo dos erros ou inconsistências surgidos ao longo do tratamento de dados. Foi assim efectuado o registo das informações que não estavam presentes e que seriam necessárias para o cálculo dos diversos índices de Fiabilidade, e que impediam uma análise mais precisa. Foi também pedido que, depois de registados todos estes problemas, fossem dadas contribuições de modo a poder melhorar todo o programa e estruturas do sistema de recolha e tratamento de dados de modo a que no futuro, a Marinha Portuguesa possa realizar trabalhos no âmbito da Fiabilidade e Manutenção sem ter que se preocupar com a qualidade da sua base de dados.

1.3 - Estrutura da Dissertação

No capítulo corrente (Capítulo 1), pretende-se apresentar o trabalho, e demonstrar o que será desenvolvido ao longo do mesmo, inteirando o leitor dos objectivos da Dissertação. Para finalizar, expõe-se a estrutura da Dissertação de modo a permitir uma melhor orientação na leitura da mesma.

O capítulo 2 destina-se apenas à Revisão Bibliográfica. É possível dividir este capítulo em 4 grandes subcapítulos. O primeiro destina-se exclusivamente à Fiabilidade e contém entre outros, definições gerais e explicações das metodologias utilizadas (Taxa de Falhas; Teste de Laplace, etc...). A segunda parte diz respeito à Manutenção, à sua história e aos seus diferentes tipos. São também referidos as diversas doutrinas de Manutenção. O terceiro é constituído pela Análise de Riscos com uma sucinta descrição

das diferentes etapas e nomenclatura. O último encontra-se a revisão bibliográfica referente aos gráficos de Pareto.

O capítulo 3 encontra-se agrupado em 2 subcapítulos e versa sobre a Marinha. No primeiro, dá-se a conhecer um pouco da história da Marinha Portuguesa, assim como da Classe Vasco da Gama e das fragatas que a compõe. Pretende-se familiarizar o leitor com os subsistemas em estudo, e descendo mais ao detalhe, conhecer um pouco dos equipamentos que compõem estas fragatas.

No segundo subcapítulo, fala-se da Manutenção que se faz na Marinha. Aqui tenta-se elucidar o leitor quanto ao Sistema de Gestão de Manutenção da Marinha, e mais propriamente o Sistema de Recolha e Tratamento de Dados. Demonstra-se como são processados os dados que posteriormente vão ser trabalhados neste trabalho, e pretende-se também referenciar qual o plano de manutenção seguido actualmente. Irá também ser feita uma breve apresentação do programa SICALN para que se consigam entender as dificuldades surgidas neste trabalho e as futuras melhorias.

No 4º capítulo são descritos os procedimentos para a recolha e tratamento de dados, detalhando aspectos relevantes imprescindíveis para uma boa percepção do trabalho. Salientar que esta é talvez a fase mais importante deste tipo de trabalho, pois é a qualidade dos dados que vai ditar o sucesso dos resultados finais. Foi a fase que mais tempo demorou a estar concluída, pois foram encontradas muitas inconsistências difíceis de transpor. Juntam-se também figuras para demonstrar alguns comportamentos registados pelos equipamentos que serão explicados e justificados, pela interpretação dos dados recebidos.

Do capítulo 5 saem os resultados da aplicação das ferramentas de Fiabilidade, da Análise de Risco e do diagrama de Pareto. Os resultados foram divididos pelas respectivas fragatas e ainda subdivididos pelos subsistemas que as compõem. Toda a revisão bibliográfica demonstrada no capítulo 2 é assim aplicada neste trabalho com os dados adquiridos no capítulo 4. Neste capítulo encontra-se também um leque variado de quadros, figuras e gráficos que exemplificam os valores obtidos, e especificarem um ou outro componente mais crítico.

No capítulo 6, a primeira parte está reservada para as conclusões retiradas dos valores obtidos no capítulo anterior, e uma interpretação mais concisa e prática. No final sugerem-se trabalhos futuros dentro da Marinha Portuguesa.

O capítulo 7 será documentado todas as dificuldades sentidas para realizar um correcto tratamento de dados. Este subcapítulo será dividido em dois: a primeira parte retratará as dificuldades inerentes ao erro “humano”. São relatadas as consequências da falta ou do mau preenchimento dos relatos de falhas e que afectaram este trabalho. Na segunda parte estão relatadas as dificuldades devido a erros intrínsecos ao programa. Por fim serão dados alguns processos de melhoria.

Após o capítulo 7, estarão as referências bibliográficas onde se incluem todas as fontes pesquisadas e que serviram de base à elaboração de toda esta dissertação.

No final, apresenta-se um conjunto de 6 anexos, onde se encontram todos os gráficos realizados para os estudos de todos os equipamentos, assim como os diagramas de Análise de Risco e demais informação que foi necessária para complementar toda a explicação dada durante todo este trabalho.

De referir por fim que por motivos de confidencialidade, as 3 fragatas que compõem a Classe Vasco da Gama, serão denominadas por Fragata A, B, C a partir do 4º capítulo.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Introdução

Este capítulo é exclusivamente dedicado à revisão bibliográfica, e à explicação ao leitor dos conteúdos e metodologias que serão aplicados neste trabalho. Para a explicação destes conteúdos e metodologias, procurou-se recorrer, a maioria das vezes, a livros de autores bem conhecidos do mundo da Gestão da Manutenção e da Fiabilidade, bem como publicações científicas recentes, de modo a obter um conjunto de elementos actuais, fidedignos e completos.

Ao longo deste capítulo, existiu a preocupação de focar a revisão bibliográfica nas metodologias que viriam a ser utilizadas para conseguir o objectivo final desta Dissertação. Muitas outras metodologias com igual importância no mundo da Manutenção/e Fiabilidade poderão não estar contidos neste capítulo, mas estarão contidos na bibliografia pesquisada para este trabalho.

2.1- Fiabilidade

2.1.1- Evolução da Fiabilidade

2.1.1.1- Introdução

Ferreira (1998) define Fiabilidade como a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade de que o mesmo exerça uma função requerida em condições de utilização e por um período determinado. Assim, segundo Dias (2002), o objectivo fundamental dos estudos da Fiabilidade deverá ser sempre o de fornecer a informação necessária à tomada de decisão. Já Filho (2006) afirma que a função da Engenharia da Fiabilidade é criar e desenvolver requisitos necessários da fiabilidade de um sistema, estabelecer um programa de fiabilidade adequado, e executar análises apropriadas e tarefas que assegurem que o sistema atenderá aos requisitos.

A Engenharia da Fiabilidade é uma área científica que assenta na teoria matemática de estatística e de probabilidade, para a obtenção dos seus resultados.

2.1.1.2- Dos tempos Primórdios à década de 50 do séc. XX

Para se encontrarem referências de elementos ligados à fiabilidade, terá que se recuar até 429 a.c, onde um comerciante assegura “que a esmeralda não sairá do anel durante os próximos 20 anos”. Esta citação do tempo do Antigo Egipto, já demonstra a preocupação que os nossos antepassados possuíam com a fiabilidade de um objecto. No entanto, a primeira vez que a palavra Fiabilidade é utilizada, com toda a sua análise quantitativa e qualitativa é por Samuel T. Coleridge no início do séc. XIX.

Em 1930, o conceito de fiabilidade começa dar os seus primeiros passos na indústria aeronáutica, e começam a ser utilizados os conceitos de probabilidade e estatística. Inicialmente a comparação de projectos era feita pela análise qualitativa, mas posteriormente, com uma maior quantidade de aviões a navegar, e com o acesso a uma base de dados onde constavam as falhas dos mesmos, foi possível expressar a fiabilidade em função do número médio de falhas.

Um novo passo é dado na década de 40, onde passa a delimitar-se a taxa de falhas para um número máximo de falhas possíveis. Este era ainda um estudo muito limitado, e depois de vários estudos, de erros e avanços durante a 2ª Guerra Mundial, um matemático da equipa de Piruschka, enuncia que a fiabilidade de um sistema em série é o produto das fiabilidades individuais de cada componente, e esta é o verdadeiro salto do universo da Fiabilidade.

2.1.1.3- Década 50 à década de 90

Na década de 50, a engenharia da fiabilidade é então utilizada e desenvolvida pela Força Aérea Norte-Americana, que na altura se deparava com uma baixa disponibilidade dos seus equipamentos. É nesta década que a distribuição de Weibull é publicada pelo próprio. Esta distribuição recebe vários prémios depois do sucesso de vários testes que confirmaram a boa qualidade do ajuste estatístico para a distribuição de falhas, que o método permite. É também conhecido o FMEA- Análise de Modos e Efeitos de Falhas, um dos principais métodos de Análise de Riscos.

Na década de 60, a disputa da ida à lua proporcionou um enorme desenvolvimento da Fiabilidade. Assim, é nesta época que aparecem técnicas como a “Árvore de Falhas”, “Árvore de Evento”, Diagrama de Blocos”, a análise de Marklov e a simulação de Monte Carlo entre outros. Estas metodologias ajudaram à realização de grandes feitos como o Programa Espacial e o Programa Nuclear.

A década de 70 é a década de afirmação da Fiabilidade, com a sua implementação nas áreas químicas e petroquímicas para aumentar a eficiência dos processos, e para garantir a segurança das instalações.

Na década de 80, já com a Fiabilidade a exercer um papel de destaque em todos os sectores da Indústria, a sua evolução passa agora pela sua junção com a Manutenção. Aparece assim a técnica da Manutenção centrada na Fiabilidade (RCM).

2.1.1.4- Da década de 90 até aos dias de hoje

Na década de 90 a Fiabilidade continuou a ser desenvolvida nos vários segmentos industriais. A técnica RCM é cada vez mais fulcral para o sucesso de vários projectos, e torna-se uma das técnicas mais em voga. Engenheiros da Fiabilidade passam a ter que se preocupar com todos os factores inerentes à Fiabilidade e Manutenção, como a disponibilidade do equipamento, e a sua manutibilidade. O sucesso a longo prazo de um equipamento é ditado logo aquando do seu projecto. É nesta importante fase que fiabilidade e a manutenção se aliam para poderem prolongar o ciclo de vida dos diversos equipamentos e garantir a segurança do meio que os rodeia.

2.1.2- Definição dos Principais Conceitos

O conceito bibliográfico de Fiabilidade já foi definido anteriormente. Existem ainda outros índices importantes, que trabalhando com a base de dados de um sistema, fornecem valores referentes ao estado do mesmo.

2.1.2.1- MTBF e MTTR

O MTBF “*Mean Time Between Failure*” e o MTTR “*Mean Time To Repair*” são dois índices, que sem demonstrarem toda a realidade de um sistema, dão uma preciosa ajuda no que se refere à ocorrência de falhas, tempos de reparação e disponibilidade dos equipamentos.

O MTBF (Dias, 2002) representa a esperança matemática dos tempos das falhas, e dita o tempo médio de bom funcionamento de um produto, ou como enuncia Gonçalves (2005) o tempo médio entre acções de Manutenção Correctivas. O MTBF poderá ser um quantificador da Fiabilidade, pois o seu valor indica a aptidão de um determinado sistema funcionar correctamente durante um determinado período de tempo. Poderá então concluir-se que um sistema com um elevado valor de MTBF detém também um elevado valor de Fiabilidade. Poderá calcular-se o MTBF de um determinado tempo através de:

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N}$$

Onde :
 $\sum TBF$ = Total de horas de Bom funcionamento
 N = Total da Falhas ou Avarias do sistema

Eq. 2.1

O MTBF é um índice para sistemas reparáveis. Perante um sistema não reparável, então apresenta-se o MTTF (*Mean Time To Failure*), ou seja, o teste termina quando o equipamento registar a primeira falha.

Outro indicador é o MTTR que indica o tempo médio necessário para reparar uma falha, ou seja, o tempo de intervenção da Manutenção Correctiva. Este é obrigatoriamente um índice de sistemas reparáveis, e uma medida da manutibilidade. Poderá ser calculado através de:

$$MTTR = \frac{\sum TR}{N}$$

Onde :
 $\sum TR$ = Total de horas de Reparação do Sistema
 N = Total da Falhas ou Avarias do sistema

Eq. 2.2

2.1.2.2- Disponibilidade

Só pelo termo disponibilidade intuitivamente se consegue perceber que se lida com um índice cujo principal factor é o Tempo. Poderá definir-se disponibilidade como a probabilidade de um determinado equipamento estar disponível para trabalhar quando assim o for exigido. Este índice é uma característica dos sistemas reparáveis e depende de vários factores como: o número de falhas (fiabilidade), da rapidez com que são reparadas (manutibilidade), do tipo de manutenção (manutenção) e da qualidade dos meios à disposição (logística).

Retirando o exemplo de Assis (1997): supondo que durante um certo período de tempo T , um órgão funciona correctamente uma parte do tempo T_u (tempo útil), e que se encontra parado o resto do tempo T_p , então, $T = T_u + T_p$, reparando as n falhas ocorridas. Então a disponibilidade mede a percentagem de tempo útil em relação ao tempo total:

$$D = \frac{T_u}{T} = \frac{T_u}{(T_u + T_p)}$$

Eq. 2.3

Mas, se após um longo período de tempo, se dividir o numerador e o denominador pelo número de falhas, então tem-se:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Eq. 2.4

A disponibilidade não tem em conta se o órgão falhou e foi reparado em seguida ou se demorou mais tempo a ser reparado, assim como a fiabilidade não tem em conta os acontecimentos depois de uma falha, mas sim a continuidade do funcionamento sem

falhas. Isto faz com que um sistema que funcione perfeitamente e tenha uma falha com um tempo de reparação muito longo tenha uma disponibilidade menor que um outro que tenha muitas falhas mas de curto tempo de reparação. É por este motivo que Ferreira (1998) enuncia que um dos objectivos clássicos da Manutenção implica o aumento da fiabilidade dos equipamentos (MTBF) e a diminuição dos tempos de intervenção (MTTR).

2.1.2.3- Manutibilidade

Manutibilidade é a probabilidade de recuperar um sistema nas condições de funcionamento especificadas, em prazos de tempo estabelecidos, quando as acções de manutenção são efectuadas nas condições e meios previstos (Ferreira, 1998).

Será um factor em ter em conta no início de um projecto de um equipamento, pois este é um factor que poderá ter consequências directas nos índices anteriores. Se um sistema dispuser de boas características de manutibilidade, as falhas serão facilmente e rapidamente remediadas e as consequências serão mínimas (Assis, 1997), o que irá aumentar o MTBF e diminuir o MTTR e como consequência aumentar a disponibilidade. É por isso que em termos quantitativos, é interessante notar que o tempo médio entre falhas (MTBF) é um parâmetro de fiabilidade e que o tempo médio de reparação (MTTR) é um parâmetro da manutibilidade. (Assis, 1997).

2.1.3- Sistema Reparável e Não Reparável

Asher e Feingold (1984) definem um Sistema Reparável (SR) como “sendo um sistema que após cada falha é reparado, sendo reposta a sua situação operacional até uma outra possível falha. Já Dias (2002) é mais completo e afirma que um SR pode ser definido como um conjunto de vários componentes associados para realizarem uma ou mais funções que, após cada falha, são reparados para desempenhar com eficiência a mesma função que desempenhavam. Concluindo, num sistema reparável a falha de um componente nunca pode pôr em questão o ciclo de vida do sistema.

É principalmente devido aos SR que se desenvolveram métodos e índices para se conseguir perceber e antecipar uma falha que obrigaria a uma paragem mais demorada do sistema com maiores consequências para o mesmo.

Um sistema reparável é periodicamente sujeito a um processo de manutenção preventivo ou correctivo, o que pode alterar os intervalos de tempo entre falhas. Assim,

torna-se essencial no início de um estudo deste tipo, analisar a tendência e a independência dos dados disponíveis, considerando a ordem cronológica das falhas.

Ao invés, um Sistema Não Reparável, é um sistema cuja falha indica o fim de vida do componente ou sistema, pois por várias razões de projecto ou até mesmo económicas, não será viável a sua reparação. Assim, a falha num sistema deste tipo ocorre apenas uma vez, não existem nenhum tipo de manutenções passível de ser aplicado a estes componentes.

2.1.4- Análise estatística de Falhas

A análise de falhas, só é possível de realizar em SR como é o caso, e para a realização deste tipo de análise é fundamental possuir uma base de dados com todo o historial dos diversos equipamentos do sistema. A partir deste passo, a ordem cronológica das falhas é de uma elevada importância para se testar a evolução das tendências da taxa de falhas, matéria que será escrutinada posteriormente. Este factor pressupõe que se jogue com duas variáveis importantes: o tempo de vida do sistema no momento da falha, e o tempo desde a última falha.

Para que a base de dados também não seja demasiado longa, é normal limitar a duração do ensaio por tempo (t) ou pelo número de falhas (n_f). Neste trabalho irá limitar-se a base de dados num determinado tempo.

A preparação de uma base de dados com registos rigorosos de todas as ocorrências que de alguma forma possam influenciar a Fiabilidade, é um elemento de trabalho imprescindível (O'Connor, 202). Assim, não poderão ser esquecidos nenhuns factores exteriores ou de trabalho que possam ter alguma consequência directa no sistema. Na análise de dados de falhas, poderá também utilizar-se o diagrama de Pareto para uma visualização mais directa das prioridades da análise dos componentes que sofrem falhas.

Na maioria das áreas estatísticas, a distribuição normal serve para modelar uma variável aleatória, no entanto na Fiabilidade esta distribuição já não consegue modelar todo o tipo de variáveis existentes, e o modelo de distribuição a aplicar vai ter em conta a análise prévia feita ao número de falhas e ao tempo, como será visto no próximo ponto.

2.1.5- Taxa de Falhas

A Taxa de Ocorrência de Falhas ou ROCOF- *Rate of Occurrence of Failures*, é um dos principais índices de Fiabilidade, e define-se como a derivada em ordem ao tempo do

número esperado de falhas. Tem a ver com o processo estocástico que modela o número de falhas ao longo do tempo (Dias, 2002).

Num SR é tão importante a função de distribuição de falhas como a Taxa de Ocorrência de Falhas ou mais usualmente denominada Taxa de Falhas. Num SR este índice pode variar o seu valor, dependendo se o sistema sofre alguma perturbação interna ou externa.

Um Processo Estocástico consiste num conjunto de acontecimentos discretos que poderão ser falhas que ocorrem aleatoriamente num SR, e que por isso poderão ser representados por uma função de distribuição contínua (O'Connor, 2002). Podem ser analisados usando métodos estatísticos de séries de acontecimentos. É neste ponto que a taxa de falhas se torna mais importante, pois para se iniciar a análise de um Processos Estocástico, é necessário determinar se o processo tem alguma tendência, ou seja, é peremptório saber se a taxa de falhas está a crescer, decrescer ou se é constante.

Ferreira (1998) enuncia que a taxa de falhas $\lambda(t)$ é um indicador de fiabilidade e representa a proporção de dispositivos ou equipamentos que devem sobreviver num instante t. Para um cálculo matemático da taxa de falhas, existe a dificuldade para a obtenção deste valor, pois envolve várias variáveis aleatórias distintas. No entanto na prática, a taxa de falhas pode ser calculada da seguinte forma:

$$\lambda(t) = \frac{N^{\circ} \text{ Falhas}}{\text{Tempo de operação}} \quad \text{Eq. 2.5}$$

2.1.6- Teste de Laplace

Precedentemente a calcular os diversos índices e obter a Fiabilidade de um sistema, é necessário conhecer a taxa de falhas e conhecer a sua evolução nos diversos componentes que constituem o sistema, de modo a identificar o comportamento do sistema num determinado intervalo de tempo. Para se conseguir esse ponto, a maioria das vezes é utilizado o teste de Laplace.

O teste de Laplace, baseado numa estatística amostral, permite verificar se a taxa de falhas é constante ou se, pelo contrário, apresenta alguma tendência. Este teste serve para testar a presença de um possível Processo de Poisson Homogéneo (PPH) (Dias 2002). Assim, para um teste limitado por tempo, a equação a aplicar é:

$$Z_0 = (\sqrt{12 \times n_f}) \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n_f \times T_0} - 0,5 \right] \quad \text{Onde :} \quad \text{Eq. 2.6}$$

n_f = Numero de Falhas
 T_0 = Tempo de Duração do Teste
 τ_i = Idade do Sistema no momento da Falha

O teste de Laplace, baseado numa estatística amostral, permite saber se a taxa de falhas é constante, ou o contrário. Este teste é suficiente para provar se se está perante um PPH, e se assim for, a estatística segue uma distribuição normal reduzida com média zero e variância unitária. A hipótese de se estar perante um PPH é rejeitada se para um determinado nível de significância α , Z_0 for superior ao intervalo crítico. Resumindo, se $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$ então rejeita-se a hipótese de se estar perante um PPH.

Se for considerado um nível de significância de $\alpha=10\%$, mais usualmente utilizado, então $Z_{\frac{\alpha}{2}} = Z_{0,05} = 1,645$ (valor retirado da Tabela em anexo I). Este será o valor utilizado ao longo de todo este trabalho.

Se os valores de Z_0 se encontram fora do intervalo de confiança, então estar-se-á perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH). Se esse valor de Z_0 for positivo existe uma tendência crescente da taxa de falhas. Se o valor for negativo, existe uma tendência decrescente da taxa de falhas.

No caso dos valores de Z_0 se encontrarem dentro do intervalo de confiança, indica que se está perante um PPH em que o sinal positivo ou negativo de Z_0 indica uma ligeira taxa de falhas crescente ou decrescente respectivamente. A figura seguinte demonstra o que foi referido anteriormente:

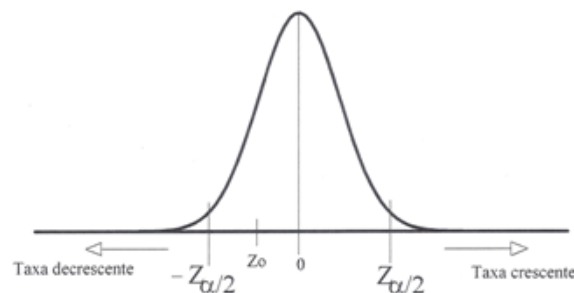


Figura 2.1: Representação da Normal Reduzida (Fonte: Lampreia, 2005)

É possível ainda verificar todo este processo através de uma análise gráfica onde estão representados os tempos de vida do sistema no momento da falha, como mostra a figura como exemplo:

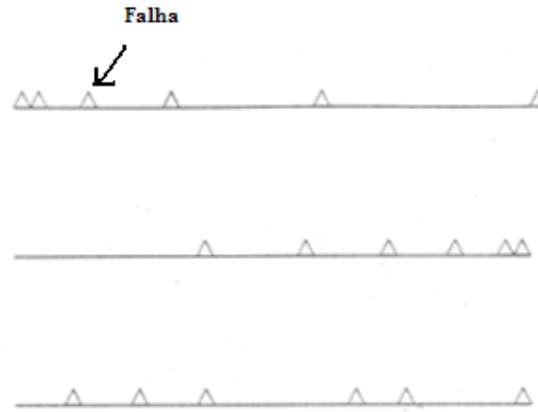


Figura 2.2: Sistemas com Taxas Crescentes, Decrescentes e Constantes de Falhas respectivamente
(Fonte: Lampreia, 2005)

Se se detectar que inicialmente os intervalos de tempo entre as falhas são muito curtos e aumentam ao longo do tempo, é porque se estará perante uma taxa de falhas decrescente, e o inverso, demonstra uma taxa de falhas crescente. No entanto esta avaliação visual não dispensa a utilização do teste de Laplace para confirma resultados, pois valores próximos dos limites do intervalo têm uma ligeira tendência que pode enganar quem interpreta estes dados. No entanto, se for visível que ao longo do tempo, os intervalos de tempo entre as falhas são constantes então está-se perante um PPH.

No caso de a taxa de falhas for constante, ou seja, Z_0 encontra-se dentro do intervalo definido, então é possível modelar o intervalo de tempo entre as falhas por uma distribuição Exponencial Negativa. Para os casos de PPNH, dependendo se este é de taxa crescente ou decrescente de falhas, são aplicados modelos mais apropriados, de modo a modelar as falhas e obter resultados mais próximos da realidade.

Para O'Connor (2002), no PPH uma condição essencial é a probabilidade dos acontecimentos que ocorrem em qualquer momento, ser independente da que ocorreu nos períodos precedentes. Assim, um PPH descreve a sequência independente e identicamente distribuído das variáveis aleatórias. Num PPNH passa-se exactamente o contrário, onde a sequência não é independente nem identicamente distribuída.

2.1.7-Processo Poisson

A área de análise estatística, para os processos estocásticos é vasta, pelo que se irá apenas focar as metodologias de modelos estatísticos pontuais mais usuais, e que poderão ser utilizadas neste trabalho.

Como referido anteriormente, é importante no início de um estudo deste âmbito analisar a tendência dos dados disponíveis, devido às alterações que os SR estão frequentemente

sujeitos (acções de Manutenção preventivas e correctivas por exemplo), o que afecta directamente esta tendência. Assim, é unânime por vários autores que o teste de Laplace é uma ferramenta importante para a detecção da tendência dos dados disponíveis, de modo a identificar o tipo de Processo de Poisson associado aos mesmos.

Em função do comportamento aleatório ou não dos dados, podem considerar-se vários processos de Poisson. A figura seguinte, demonstra o processo de identificação do modelo mais apropriado para cada caso, onde constam o PPH, o PPNH e o Processo Poisson Ramificado (PPR), embora existam ainda outros não tão utilizados:

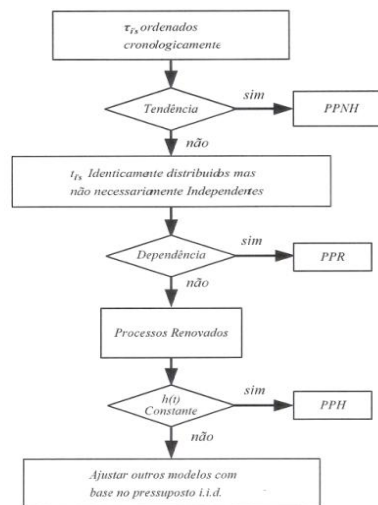


Figura 2.3: Análise estatística da ordem cronológica das falhas. (Fonte: Gonçalves, 2005)

Dias (2002) refere que se se estudar a ocorrência de um determinado acontecimento \underline{A} num intervalo de tempo, sendo \underline{A} por exemplo o número de componentes que falham nesse intervalo, então o Processo de Poisson representa a sequência dos componentes que falham em intervalos de tempo semelhantes. Assim, o PPH requer que:

- \underline{A} possa ocorrer em qualquer momento no intervalo, sendo a probabilidade de ocorrência no intervalo $(t, t + \Delta t)$ independente de t , a taxa de ocorrências (m = valor médio de ocorrência do acontecimento \underline{A}) é constante e representa o número médio de componentes que falham por intervalo de tempo.
- A probabilidade de mais de um acontecimento \underline{A} é igual a zero;
- Para uma sequência de intervalos, no período considerado, os acontecimentos \underline{A} são independentes;

2.1.7.1- Processo Poisson Homogéneo

O PPH caracteriza-se por uma taxa de falhas constante ao longo do tempo, ou seja, ROCOF constante. Assim, os intervalos de tempos entre falhas são aproximadamente o

mesmo ao longo do tempo, o que indica uma sequência aleatória dos dados. Na representação gráfica do número de falhas em função do tempo de vida no momento da falha, apesar da aleatoriedade do processo, é possível ajustar uma recta ao percurso dos pontos. No entanto, refere-se que esta visualização gráfica não substitui o teste Laplace.

Um processo de renovação pode ser definido como uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas independentes e identicamente distribuídas (IID), o qual constitui a generalização do PPH. Então, um PPH poderá ser definido como uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas, independentes e identicamente distribuídas (Dias, 2002). Assim, pela seguinte expressão é possível obter a fiabilidade de um SR:

$$R(\Delta\tau) = e^{-\lambda\Delta\tau} \quad \text{Onde:} \quad \text{Eq. 2.7}$$

$\Delta\tau$ = Intervalo de Tempo
 λ = Taxa de Ocorrência de Falhas

Esta é uma das expressões mais utilizadas na prática, o que permite que o cálculo de SR seja bastante acessível.

Para O'Connor (2002) é possível analisar a Fiabilidade com o cálculo do MTBF, uma vez que as falhas são (IID), e então, como a distribuição estatística é a distribuição exponencial negativa caracterizada por uma função de risco e esquecendo a sequência cronológica das falhas, o inverso do MTBF dará o valor das taxas de falhas:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Eq. 2.8}$$

Assim, a Fiabilidade de um SR poderá ser fornecido pela expressão:

$$R(\Delta\tau) = e^{\frac{-\Delta\tau}{MTBF}} \quad \text{Eq. 2.9}$$

É importante referir que, apesar de um sistema se comportar como um PPH e seguir uma distribuição Exponencial Negativa, não significa que todos os componentes que o compõem apresentem uma função de risco.

2.1.7.2- Processo Poisson Não Homogéneo

Um PPNH distingue-se por uma taxa de falhas não constante, ou seja, dependente do tempo, o que indica que, ao longo do tempo, os intervalos de tempo entre falhas tende a aumentar ou diminuir. Assim, um PPNH poderá ocorrer ou porque um SR tem uma taxa

da falha decrescente (ROCOF decrescente), ou porque tem uma taxa de falhas crescente (ROCOF crescente).

2.1.7.2.1- Taxa de Falhas Decrescente

Se um SR tem uma taxa de falhas decrescente, indica que a sua Fiabilidade é crescente, e do ponto de vista da Manutenção, os modelos que estão a ser seguidos estão a melhorar o sistema. No entanto, do ponto de vista da Fiabilidade, é necessário criar um modelo que se adequa aos dados que provêm deste sistema. Esse modelo é denominado modelo de Crow ou Modelo de Fiabilidade Crescente. Através de vários estimadores, este modelo consegue obter a taxa de falhas, e consequentemente o MTBF do sistema. As duas formas não paramétricas mais aplicáveis a SR aquando de PPNH são:

$$\rho_1(\tau) = e^{\alpha_0 + \alpha_1 \tau} \quad -\infty < \alpha_0, \alpha_1 < \infty \quad \tau \geq 0 \quad \text{Eq. 2.10}$$

$$\rho_2(\tau) = \lambda^* \times \beta^* \times \tau^{\beta^* - 1} \quad \lambda^*, \beta^* \geq 0 \quad \tau \geq 0 \quad \text{Eq. 2.11}$$

O número de falhas por unidade de tempo de um SR é dado pela equação 2.10, onde τ representa o tempo de duração do teste. As estimativas das constantes do modelo podem ser facilmente obtidas pela função de máxima verosimilhança. Para dados censurados por tempo, os estimadores de λ^* e β^* são respectivamente:

$$\beta^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} \quad \text{Onde :} \quad \text{Eq. 2.12}$$

$$\lambda^* = \frac{n_f}{T^{\beta^*}} \quad \begin{aligned} T &= \text{Tempo Total de Duração do Teste} \\ \tau_i &= \text{Tempo de Vida no Momento de Falha} \\ n_f &= \text{Nº Total de Falhas Durante o Teste} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2.13}$$

O inverso da taxa de falhas, é dado por:

$$\theta = \frac{1}{\lambda^* \times \beta^* \times \tau^{\beta^* - 1}} = \frac{1}{\rho} \quad \text{Eq. 2.14}$$

Vários autores consideram o modelo de Crow como o mais usual no ajuste de acções de Manutenção, e o mais eficiente na optimização da programação da Manutenção.

2.1.7.2.2- Taxa de Falhas Crescente

Esta é a pior situação possível para um Engenheiro de Fiabilidade pois indica que a Fiabilidade está a piorar, ou seja, o intervalo de tempos entre falhas está a diminuir. Um sistema com ROCOF crescente é prenúncio de que o sistema está a ficar degradado, ou está a chegar ao fim do seu ciclo de vida, e não interessa utilizar estimadores, mas sim determinar as causas de falhas de modo a tentar prolongar a vida do sistema.

Se um sistema apresenta uma fiabilidade decrescente, é porque existem causas que estarão a interferir com o sistema e a causar um número crescente de falhas. Essas causas poderão ser internas ao sistema:

- o desgaste do material;
- o seu ciclo de vida útil estar perto do fim o que faz com que não se justifica modelar o seu comportamento;
- componentes com função de risco crescente o que influencia o comportamento do sistema, que depois de aplicada uma boa Manutenção poderá ser resolvida esta situação;

Ou então poderão ser provocadas por causas externas como:

- uma má manutenção aos componentes;
- uma má operacionalidade do sistema o que provoca falhas no mesmo, que depois de detectadas o sistema voltará a apresentar um comportamento aleatório;
- uma mudança no ambiente de operacionalidade do sistema.

Estes são só alguns exemplos, pois poderão haver infinitas razões para um sistema apresentar uma taxa de falhas crescente.

Quando existe um sistema que apresenta este tipo de tendência, o mais importante é detectar quais os componentes que a estão a provocar, e quais as causas para este aumento do número de falhas. Existem várias ferramentas que ajudam a esta identificação, como o Diagrama de Pareto. Existem também estimadores para este tipo de PPNH, no entanto estes não serão demonstrados, pois não irão ser utilizados.

Poderá concluir-se que a taxa de ocorrência de falhas crescente será sempre um índice não desejado para qualquer sistema.

2.2.- Manutenção

2.2.1- Introdução

Segunda a NP (Norma Portuguesa) Manutenção é a “ combinação das acções de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens, para optimização dos seus ciclos de vida”.

De uma forma mais alargada, poderá ainda definir-se Manutenção como um conjunto de acções que permite conservar ou se possível melhorar a desempenho de um sistema, com o objectivo de aumentar a fiabilidade, disponibilidade e segurança dos equipamentos, mantendo um custo global óptimo.

Actualmente já é mais que visível que a Manutenção afecta os objectivos globais de uma empresa, visto que a manutenção dos diversos equipamentos tem uma relação directa com a produção que os mesmos efectuem, volume e qualidade de produção. A gestão da Manutenção é o conjunto de acções destinadas a encontrar e a situar o nível de Manutenção num ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo, que maximize o contributo positivo da Manutenção para a rentabilidade geral da empresa (Cabral, 1998).

Poderá dividir-se a manutenção em duas grandes áreas: Soft e Hard. Na componente Soft é realizado um conjunto de metodologias estatísticas que futuramente servirão para realizar acções técnicas de Manutenção que será a componente Hard, de modo a rentabilizar o sistema.

2.2.2- Evolução da Manutenção

Poderá afirmar-se que o começo da história da Manutenção será tão antiga ou mais que a história da Fiabilidade.

A conservação de instrumentos e ferramentas é uma prática histórica, observada, desde os primórdios da civilização. Sempre houve o cuidado de conseguir manter as ferramentas para a sobrevivência, e futuramente os instrumentos para a agricultura ou para os combates bélicos. No entanto, é apenas quando surgem as primeiras máquinas têxteis a vapor, no século XVI, que a função manutenção ganha mais importância.

O termo “Manutenção” tem a sua origem no vocábulo militar, onde o sentido era manter, nas unidades de combate, o efectivo e o material num nível constante. Já na indústria, este termo apareceu por volta do ano de 1950 nos Estados Unidos da América.

A manutenção está cada vez mais a salientar-se como uma das funções que, sendo optimizada, poderá afectar os resultados das empresas positivamente. Finalmente a

Manutenção é vista como uma actividade de importância relevante na vida económica das empresas e considerada um factor de qualidade e produtividade.

No entanto nem sempre assim foi, e a Manutenção acompanhava o desenvolvimento técnico-industrial. Até à 1ª Guerra Mundial, a Manutenção tinha um papel secundário e era realizada pelos operários que operavam a máquina. Mas com a chegada da produção em série, uma quebra de produção indicava grandes prejuízos, passando a ser criada uma secção cujo objectivo principal era corrigir falhas no menor tempo possível, ou seja, executar uma manutenção Correctiva.

Com a chegada da 2ª Guerra Mundial, foram necessários fazer novos ajustes à velocidade de produção, e por isso já não era suficiente reparar as falhas. Era necessário prevenir as mesmas, passando esta secção a deter mais uma responsabilidade. Nasce assim a Manutenção preventiva.

Com a evolução da Indústria, principalmente a Aeronáutica, aparece a Engenharia da Manutenção, que será responsável pelo planeamento e controlo das actividades de Manutenção e pela análise das causas e efeitos das falhas.

A evolução da tecnologia possibilitou a criação de novos métodos de inspecção aos materiais, o que proporcionou uma análise mais detalhada e constante aos mesmos. Nasce assim a Manutenção preditiva, onde a substituição de um determinado componente acontece, quando existem sinais claros que o mesmo está degradado.

É com o avanço rápido da tecnologia, e com as exigências vindas do mercado tais como a qualidade, preços etc. que a manutenção deixa de ser vista como um prejuízo e passa a ser vista como um bem das empresas - “lucro”.

Actualmente vive-se na era da Qualidade Total, da Manutenção Proactiva, Manutenção Produtiva Total, na era da Manutenção Centrada na Fiabilidade. Como Valdir Sousa (1999) afirma: é a Engenharia da Manutenção ganhando um espaço que nunca antes conseguido, ocupando um lugar privilegiado no primeiro escalão das Empresas.

2.1.2- Tipos de Manutenção

Ao longo do tempo foram criadas metodologias e filosofias de trabalho que permitiram classificar os diversos tipos de intervenção na Manutenção, como mostra a figura:

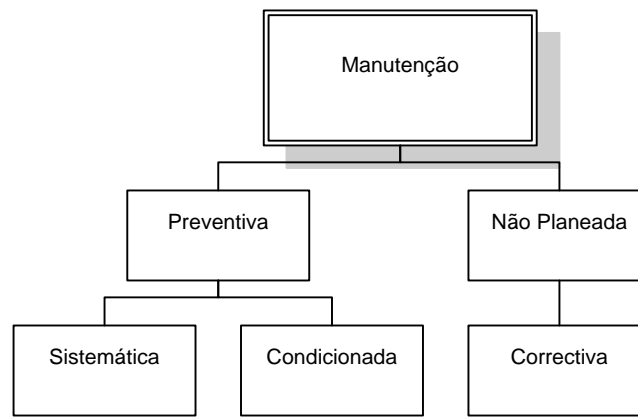


Figura 2.4: Classificação dos tipos de Manutenção

De salientar que estes conceitos de manutenção poderão ser ligeiramente diferentes, dependendo do autor consultado.

Assim, a forma de actuar perante uma determinada falha, poderá classificar as falhas de Preventiva, quando os sistemas são reparados antes de alguma falha, ou Não Planeada, quando um sistema sofre de uma falha e esta não foi detectada a tempo de ser evitada.

A manutenção correctiva, é efectuada após a constatação de uma anomalia num órgão, com o objectivo de restabelecer as condições que lhe permitam cumprir a missão. Se a anomalia ocorrer de forma catastrófica, dizemos que ocorreu uma falha e a Manutenção tem de intervir de emergência (Assis, 1997). Segundo Dias (2002) quando ocorre, na maioria dos casos, não é programada e na maioria das situações esta é a forma mais tradicional de fazer Manutenção. Este tipo de manutenção compreende o tempo desde a localização da falha e seu diagnóstico, até se conseguir repor o bom funcionamento do sistema ou equipamento. Dias (2002) refere ainda que neste tipo de manutenções é exigido um esforço adicional da equipa de manutenção pois normalmente obriga a meios de intervenção nem sempre disponíveis no momento da falha”. Como é natural, estas acções deverão ser reduzidas ao menor número possível, através de uma boa planificação de tarefas de Manutenção Preventiva.

Se a anomalia se revelar de forma progressiva, a intervenção da Manutenção pode ser planeada para o momento mais oportuno (Assis, 1997). Trata-se de Manutenção Preventiva, e como o próprio nome indica, não necessita de prontidão imediata dos técnicos podendo ser “planeada” para um momento mais oportuno. A Manutenção Preventiva pressupõe a intervenção de Manutenção num momento devidamente preparado e programado antes da data provável do aparecimento da falha (Ferreira, 1998).

Os objectivos deste tipo de Manutenção são o de aumentar a fiabilidade dos equipamentos reduzindo as falhas, aumentar a duração de vida, melhorar o planeamento dos trabalhos e a redução dos custos de Manutenção, que em caso da falha poderão ser mais avultados. Este tipo de Manutenção subdivide-se em outros que são:

- Sistemáticas - são acções periódicas, com base no conhecimento da lei de degradação do sistema e de um risco de falha assumido. Obedece a um calendário pré-determinado segundo horas ou ciclo de funcionamento, ou até mesmo por número de dias, etc... Existe no entanto o problema de haver uma frequência demasiado elevada deste tipo de acções, o que encarece a Manutenção e retirará disponibilidade ao sistema. Assim, o ponto mais sensível deste tipo de Manutenção é determinar os intervalos óptimos para as respectivas acções (Dias, 2002);
- Condicionadas - manutenção executada quando determinada pelos resultados da avaliação de parâmetros previamente seleccionados, feita de forma discreta ou continua (Assis, 1997). A decisão de uma acção como esta, só é tomada quando existe a evidência experimental de falha eminente ou se está a chegar a um ponto crítico ditado pelo fabricante. O sucesso deste tipo de Manutenção depende da eficácia dos recursos para vigiar os equipamentos, e este é o ponto fraco desta técnica pois normalmente esses aparelhos são bastante dispendiosos e não são acessíveis à maioria das empresas (Cabral, 1998);

A principal diferença entre as duas é que enquanto a sistemática estará mesmo planeada, a condicionada é apenas planeada quando o alarme surge. Além de uma maior utilização de todos os órgãos de um componente, também evita intervenções inúteis realizadas pela sistemática. No entanto existe o constante perigo de o componente acabar por falhar, provocando custos provavelmente maiores.

Um outro tipo de Manutenção que surgiu mais recente e denominada de “Oportunidade” é uma manutenção preventiva que é realizada a um equipamento quando um outro semelhante do mesmo sistema está a sofrer uma acção de Manutenção. Este é um tipo de manutenção também utilizado na Marinha Portuguesa, onde o objectivo é diminuir custos financeiros, humanos e material de uma acção, e aumentar a fiabilidade e disponibilidade de vários componentes de um sistema.

2.1.3- Políticas / Planos de Manutenção

Definir uma política de manutenção para uma empresa, é algo que se torna complicado quando se avaliam os prós e contras de todos os tipos de manutenção anteriormente citados.

É necessário conseguir conhecer todo o historial do sistema para definir a política mais correcta para o mesmo. Depois, para o sucesso de uma política de manutenção, é necessário criar as condições necessárias dentro da instituição ou empresa, para que a mesma possa ser aplicada e seguida.

Assim sendo, definir uma política de Manutenção não é uma tarefa fácil, no entanto, em seguida estarão em evidência, duas políticas em emergência no mundo da Manutenção.

2.1.3.1- TPM

O T.P.M - *Total Productive Maintenance* ou em português Manutenção Produtiva Total, foi implementada no Japão a partir dos anos 60. Visa uma maior flexibilidade de colaboração entre sectores da empresa, fazendo participar o pessoal da produção na Manutenção (Ferreira, 1998). O objectivo desta técnica é conseguir chegar às “zeros falhas”, e tem como princípio reduzir os custos da produção, e um desperdício mínimo nas operações de manutenção. Os pilares do TPM assentam, entre outros, numa nova atitude dos colaboradores, na motivação e formação dos mesmos, representando uma política com elevado potencial de sucesso.

2.1.3.2- RCM

O RCM - *Reliability Centered Maintenance* ou em Português - Manutenção centrada na Fiabilidade, é uma outra política de Manutenção. Surgiu durante a década de 50, na área da aviação, de forma a conseguir reduzir os custos de manutenção, mantendo a fiabilidade e segurança dos equipamentos. Esta política conjuga e obriga a um equilíbrio de vários tipos de manutenções para assegurar a máxima capacidade e disponibilidade, enquanto se minimizam os custos. Os principais princípios desta técnica são: a manutenção tem que ser estruturada de acordo com a fiabilidade inerente aos equipamentos; e a causa das anomalias são mais relevantes que as suas consequências pois assim poderão evitar-se futuras anomalias deste tipo. Assim, o número de falhas de um determinado equipamento irá tender para zero, sem nunca conseguir-se atingir este objectivo.

Concluindo, esta técnica tenta maximizar a fiabilidade dos componentes e dos sistemas em geral, de modo a minimizar o risco de falha e consequentemente os custos.

2.1.4- Problemas da Manutenção

Como é natural, operações que envolvam acções humanas criam por si só possíveis erros e problemas. Se se acrescentar os erros proporcionados pela urgência de recuperar rapidamente os sistemas de modo a que estes voltem a funcionar, então poderá estar-se perante elevados riscos na realização correcta das manutenções.

Muitas vezes, por falta de tempo, repara-se apenas o que falhou, e não a causa da anomalia, logo, futuramente irá repetir-se a mesma falha ou originar outras. Se uma acção de Manutenção Preventiva é mal executada, então irá ser registado posteriormente um comportamento anómalo do equipamento, que pode culminar numa falha, logo numa acção Correctiva. O desconhecimento do histórico do sistema poderá também levar alguns engenheiros de manutenção a realizarem um plano de manutenção que irá causar problemas que anteriormente não se verificavam.

É por estes factores e muitos outros que o tema da Manutenção é algo complexo. Conseguir uma política correcta de manutenção é por vezes uma tarefa difícil de atingir.

2.3- Análise de Risco

2.3.1-Introdução

Hoje em dia as empresas vivem sobre grande pressão no que respeita às condições impostas pelo mercado, como a produtividade, a eficiência e a competitividade sempre crescente. Também não se pode esquecer que ao longo dos últimos anos, a responsabilidade social que sobre elas recai é cada vez maior, onde as condições de trabalho e segurança dos colaboradores envolvidos e o cuidado com o ambiente são condições cada vez mais focadas.

São estas as causas que fazem da Análise de Risco uma ferramenta essencial e extremamente útil se bem utilizada. Estas técnicas facilitam a análise das actividades relativas ao ciclo de vida do projecto, de modo a que seja possível e viável a implementação de medidas que minimizem os custos de operação, manutenção e inspecção dos sistemas industriais, e ao mesmo tempo poder cumprir as responsabilidades sociais tão invocadas hoje em dia.

Uma das ferramentas relevantes dentro da Análise de Riscos é a chamada Árvore de Falhas ou denominada FTA- *Fail Tree Analysis*, onde existe a tentativa de responder a perguntas simples como: “O que poderá correr mal?”(Filho, 2006) .

Deparando-se com problemas na avaliação da fiabilidade do sistema de controlo de lançamento do Míssil Minuteman, Watson em 1961 criou esta técnica que uns anos mais tarde foi reutilizada e melhorada por Engenheiros da Boeing para que a mesma pudesse ser utilizada em computador. O facto de esta técnica ser utilizada na aviação comercial, já previa o potencial que esta ferramenta teria no futuro. É por isso mesmo que, hoje em dia, a FTA se tornou numa das principais técnicas para avaliação da fiabilidade de sistemas. É utilizada nos mais exigentes ramos industriais, como por

exemplo as Estações de Energia Nuclear, concretamente no estudo de segurança dos reactores “Marvin Rausand” (Filho, 2006).

A FTA é uma análise que, partindo de um evento não desejado previamente definido, permite estabelecer um diagrama lógico através de um processo dedutivo, onde é possível investigar as sucessivas combinações de falhas dos componentes até atingir as falhas básicas, que são o limite da resolução da análise. Partindo de Richard Y Moss (1991) a Árvore de Falhas é uma representação gráfica relacionada com uma anomalia particular de um produto; uma análise de cima para baixo no qual cada um dos eventos que contribuem para essa anomalia particular podem ser avaliados em termos quantitativos e qualitativos. Assim, a avaliação da FTA é dividida em dois distintos passos: Qualitativo e Quantitativo. A primeira parte é a construção de uma expressão lógica para o evento de topo em termos dos eventos básicos, e esta é a referida análise qualitativa. A seguir, esta expressão é usada para fornecer a probabilidade do evento do topo em termos da probabilidade dos eventos básicos, e esta parte é a referida análise quantitativa (Lewis, 1987). Simplificando, a análise qualitativa centra-se nos gráficos e na visualização directa dos dados, enquanto a análise quantitativa centra-se em cálculos e na obtenção não directa de outros resultados.

A FTA é uma representação gráfica para identificar como os denominados eventos básicos podem influenciar um evento de topo não desejado. É um diagrama lógico que, utilizando tanto símbolos lógicos como de eventos que serão descritos posteriormente, demonstra diferentes situações ou relata realidades industriais muito complexas.

As FTA são classificadas em estáticas ou dinâmicas. Neste trabalho será utilizado uma FTA estática, que utiliza a lógica Booleana para representar as combinações de falhas. A dinâmica utiliza modelos mais complexos como Markov ou Smiths e por isso é muitas vezes preterida por outro tipo de ferramentas de utilização mais simplificada.

O conceito fundamental da FTA resume-se na transformação de um sistema físico em um diagrama lógico estruturado (Árvore de Falhas), em que certas causas específicas originam um evento de topo em comum (Lewis, 1987).

Actualmente existe uma outra ferramenta para a avaliação de fiabilidade análoga à FTA que é designada Diagrama de Blocos. Esta técnica utiliza esquemas para conseguir demonstrar a lógica Boolena utilizada na FTA. Se a FTA procura modelar a “falha do sistema”, o Diagrama de Blocos modela o sucesso do sistema. No caso de um sistema binário como é o do estudo (Falha/ Sucesso), a probabilidade da falha é o complemento da probabilidade do sucesso fazendo com que, no final, ambas as técnicas proporcionem a mesma resposta.

O sucesso da FTA perante os Diagramas de blocos assenta principalmente na maior flexibilidade da representação gráfica que a simbologia da FTA oferece face aos Diagramas de Blocos, mas também pela maior facilidade da FTA ser adaptada em computador, devido ao menor número de algarismo significativos necessários para o cálculo das probabilidades de falhas quando comparados ao necessário para o caso dos valores típicos das probabilidades de sucesso. Por fim, eventos não directamente relacionados com falhas dos componentes, mas sim com erros humanos ou erros de uma má manutenção são mais facilmente admitidos na FTA do que no diagrama de blocos (Filho 2006).

Depois de utilizada correctamente a técnica da FTA, esta terá que ser capaz de determinar quais as combinações das falhas dos componentes, que poderão causar o evento de topo. Por fim, esta pode ser usada para calcular e obter a probabilidade de falha, a fiabilidade ou até mesmo a indisponibilidade do sistema em questão (Lewis, 1987).

2.3.2.1- Etapas de FTA

Apesar de ser consensual, entre os autores consultados neste tema, a necessidade de um conjunto de passos a seguir para a aplicação com sucesso do método, o número de passos já não o é, podendo ter-se desde 5 passos a 10. Mas apesar desta disparidade de valores, a grande diferença está em conseguir-se resumir ou alargar-se a explicação da FTA. Filho (2006), resumiu de uma forma muito intuitiva estes passos:

Passo 1: Definição do sistema, suas fronteiras e interfaces e diagramas de blocos funcional;

Passo 2: Definição do evento de topo;

Passo 3: Construção da Árvore de Falhas;

Passo 4: Levantamento dos dados de falhas dos eventos;

Passo 5: Determinação dos Cortes Mínimos;

Passo 6: Avaliação Qualitativa da FTA;

Passo 7: Avaliação Quantitativa da FTA;

Passo 8: Avaliação da importância dos cortes mínimos;

Passo 9: Análise dos resultados obtidos;

Passo 10: Conclusões.

Estes serão os mais explícitos para a compreensão do leitor. Alguns ainda serão explicados no presente capítulo.

2.3.2.2- Nomenclatura

Em seguida será demonstrado a simbologia própria da FTA com uma breve descrição. A nomenclatura é dividida em 2 grandes grupos: os Eventos e os Portões Lógicos. Assim:

- Um portão mostra o relacionamento de um evento lógico necessita para a ocorrência de um evento superior;
- Os eventos superiores são as saídas dos portões;
- Os eventos inferiores são as entradas dos portões;
- Os portões lógicos demonstram o relacionamento entre os eventos superiores e os inferiores;

De seguida será fornecido a nomenclatura de cada símbolo (Filho, 2006):

Símbolos de Eventos:



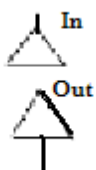
- Um Evento básico ou uma falha que não pode mais ser desenvolvida. Este tipo de evento é independente de outros tipos de eventos e indica o fim de um ramo da Árvore de Falhas. Pode ser atribuída uma probabilidade de ocorrência a este evento. Representa o final do processo dedutivo, formando assim a base da FTA;



- Evento Intermediário, é um evento que resulta da combinação de eventos básicos inferiores e que podem continuar a ser desenvolvidos;



- É um evento ou falha que não foi desenvolvido mais detalhadamente; é um evento cujo desenvolvimento não foi prosseguido por alguma razão;



- São usados como símbolos de transferência para mover ou ligar informação de uma parte de uma página da Árvore de Falhas para outra, ou até para ligar uma parte da árvore a outra mais complexa;



- É um evento condicionante. Normalmente funciona com uma porta lógica, normalmente uma porta inibidora e Prioritária;



- Evento externo, significa um evento esperado portanto o símbolo demonstra eventos que não são falhas;

Portões Lógicos:



- Portão “OU” em que o evento de saída ocorre se um ou mais eventos de entrada também ocorrerem;



- Portão “E” em que o evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada também ocorrerem;



- Portão “ Ou Exclusivo” em que o evento de saída ocorrer apenas se um e apenas um dos eventos de entrada ocorrer;



- Portão “E Prioridade” em que o evento de saída ocorrer apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem numa sequencia ordenada especificada, que normalmente é apresentada numa elipse desenhada do lado direito da porta;



- Portão K de N em que o evento de saída ocorre apenas se de n entradas ocorrerem k; o caso de 1 de n torna-se então numa porta “OU” e “ n” de” n” torna-se então uma porta “E”;



- Portão Inibidor em que o evento de saída ocorre quando uma entrada única respeita alguma condição, que estará apresentada numa elipse do lado do portão inibidor;

2.3.2.3- Método dos Cortes Mínimos e Cálculos Matemáticos

Método dos cortes mínimos é uma técnica para a obtenção da função probabilidade de evento de topo da Árvore de Falhas (Rausand, 2004).

Um corte mínimo é um conjunto de eventos básicos que não se poderão reduzir sem que se perca o objectivo principal que é o de causar o evento de topo, ou seja, são as

combinações mínimas dos eventos que quando ocorrem implicam a falha do sistema (Barlow, 1998).

A ideia dos cortes mínimos surgiu originalmente da utilização dos diagramas de blocos para os diversos sistemas eléctricos, onde o sinal entra por um lado, e é obrigado a sair por outro. Um corte mínimo é o número mínimo de componentes eléctricos que obrigatoriamente terão que funcionar para o sinal sair (Filho, 2006).

Fussel e Vesely desenvolveram o algoritmo para a obtenção de cortes, que consistia em duas regras simples: um portão “E” aumenta sempre o tamanho do corte mínimo; um portão “OU” aumenta sempre o número de cortes mínimos. Com a evolução da tecnologia, e a vinda dos computadores, em 1972 foi desenvolvido um software comercial da FT que, apoiando-se no algoritmo, criou o MOCUS - *Method for obtaining cut sets*”), e apareceu também o BICS - *Boolean indicated cut sets*, com o primeiro a conseguir uma maior importância nos dias de hoje (Filho, 2006).

MOCUS é um algoritmo que pode ser usado para encontrar o número mínimo de cortes mínimos de uma árvore de falhas, enquanto BICS utiliza a álgebra Booleana para obter o mesmo resultado.

Para uma breve explicação de como obter os cortes mínimos numa árvore de falhas, irá proceder-se ao exemplo de Rausand (2004):

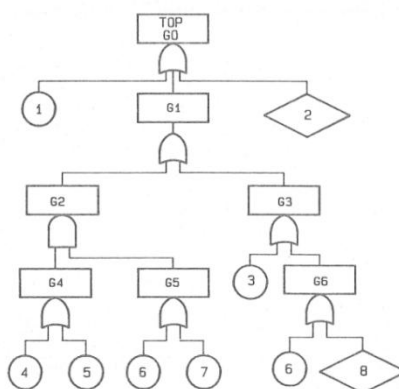


Figura 2.5: Exemplo de uma Árvore de Falhas (Fonte: Rausand, 2004)

O algoritmo começa com G0 que é o evento de topo. Como existe um portão “OU”, então vai aumentar o número de cortes mínimos. Mas em G2 está uma porta “E” o que vai aumentar o tamanho do corte mínimo. Assim sendo fica a resolução deste exemplo:

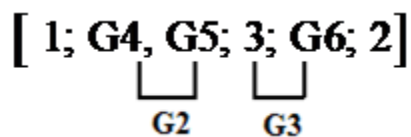
Como G0 é uma porta “OU”

$[1; G1; 2]$

Como G1 é uma Porta “OU”

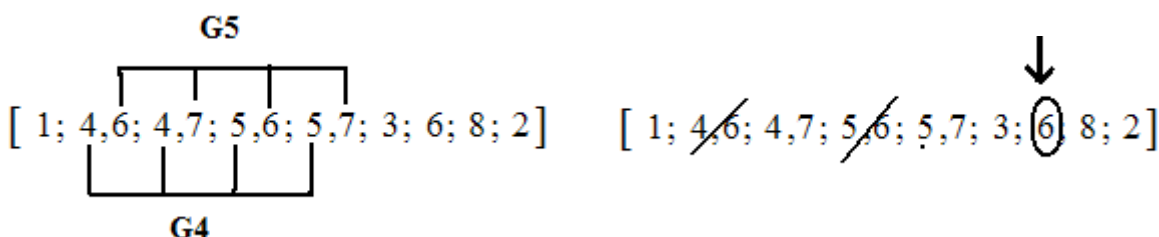
$[1; G2; G3; 2]$
 $\quad \quad \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{G1}$

G2 porta “E” e G3 porta “OU”



G4, G5 e G6 são portas “OU”

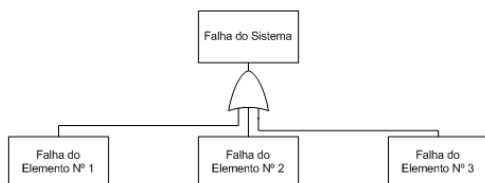
Como 6 já é um corte mínimo



A lista de cortes mínimos é então: {1},{2},{3},{6},{8},{4,7},{5,7}.

Para o cálculo da probabilidade do evento de topo, irá recorrer-se a Moss (1995) e à ajuda do diagrama de blocos para conseguir entender as várias fórmulas e os vários conceitos. Irá dividir-se a explicação em 3 diferentes situações: Árvore de falhas com portão “E”, com portão “OU” e por fim Árvore de Sucesso. Fazendo a troca dos portões “OU” e “E” numa Árvore de falhas, obtêm-se a Árvore de sucessos.

Árvore de falhas com portão “OU”:



$$P(\text{falha do sistema}) = 1 - [1 - P(1)] \cdot [1 - P(2)] \cdot [1 - P(3)]$$

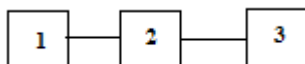
Eq. 2.15

Onde

$P()$ = Probabilidade de Ocorrência do evento

$$R_{\text{sist.}} = R_1 \times R_2 \times R_3$$

Eq. 2.16



Onde

$$R_1 = \text{Fiabilidade Sistema 1} \\ = 1 - P(\text{evento Falhar})$$

Figura 2.6: Equações para um portão "OU" (Fonte: Moss, 1995)

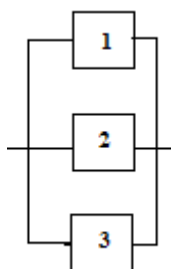


$$P(\text{falha do sistema}) = P_1 \times P_2 \times P_3$$

Eq. 2.17

Onde

$P()$ = Probabilidade de Ocorrência do Evento



$$R_{\text{sist.}} = 1 - [1 - R_1] \cdot [1 - R_2] \cdot [1 - R_3]$$

Eq. 2.18

Onde

 R_1 = Fiabilidade do Elemento 1 $= 1 - P(\text{Evento Falhar})$ $R_{\text{sist.}}$ = Fiabilidade do Sistema $= 1 - P(\text{Falha do Sistema})$

Figura 2.7: Equações de Fiabilidade para portão "E" (Fonte: Moss, 1995)

Árvore de Sucesso:

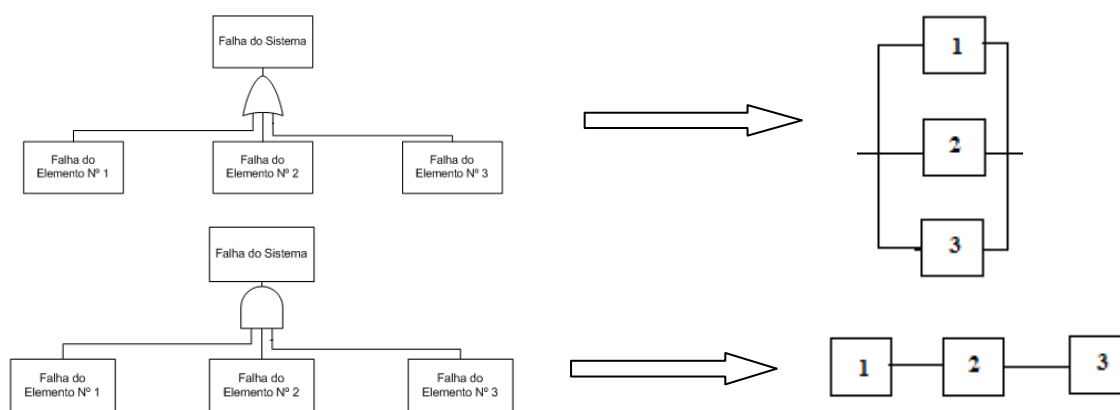


Figura 2.8: Representação Árvore de Sucesso/Diagrama de Blocos (Fonte: Moss, 1995)

2.3.2.4- Vantagens e Problemas na utilização da Árvore de Falhas

Hoje em dia, conhecer um sistema e conseguir perceber quais os componentes mais frágeis, saber quando poderão falhar e antecipar essa falha, são benefícios muito importantes a nível da gestão financeira, humana, etc...

A FTA é uma ferramenta “poderosíssima” no que toca ao conhecimento dos sistemas e respectivos componentes, e por isso é possível ter vários benefícios como por exemplo:

- Identifica falhas dedutivamente;
- Aponta os aspectos importantes de um sistema em relação ao fracasso;
- Fornecer gráficos dedutivos;
- Oferece opções para análise de fiabilidade;
- Permite a concentração em uma falha do sistema particular de cada vez;
- Fornece uma visão real do comportamento do sistema;
- Tem mais em conta o erro humano;

Uma das limitações da FTA assim como de muitas outras ferramentas é a obtenção apropriada dos dados de falhas e reparações dos eventos básicos. Se estes valores não

forem reais e fidedignos, todo o trabalho fica comprometido, pois os resultados finais não irão demonstrar a realidade, o que vai originar medidas de manutenção inapropriadas ao sistema. É por isso que o capítulo 4 deste trabalho é de elevada relevância, e cerca de 50% do tempo para realizar este trabalho passou-se à volta da recolha de dados.

2.4- Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é um das sete ferramentas utilizadas no controlo da qualidade, e foi criada em 1950 por um dos melhores Engenheiros de Controlo de Qualidade: Joseph M. Juran.

A Qualidade tem uma história idêntica à da Fiabilidade e a da Manutenção, na medida que sempre houve uma preocupação com este tema desde os tempos primitivos, mas nunca lhe foi dado um grande destaque. Só e apenas com a grande evolução tecnológica proporcionada pelo séc. XX a que começou e existir uma preocupação com este tema, e como este poderia afectar os custos provenientes de uma Indústria. Juran tem um papel fundamental no início da “revolução” da Qualidade, na medida que aplica alguns conhecimentos anteriores para conseguir obter uma gestão da Qualidade perfeita. É neste ponto que Juran, partindo do Princípio de Pareto estabelece uma das principais ferramentas da Qualidade: o Diagrama de Pareto.

Vilfredo Pareto era um economista sociopolítico, que no fim do séc XIX observou uma desigualdade na riqueza e poder na população Mundial. Depois de alguns cálculos matemáticos, este constatou que 80% da riqueza Mundial estava em cerca de 20% da população. A base do princípio de Pareto é então que, um pequeno número de causas, 20%, é responsável pela maioria dos problemas 80% (Fonte: http://www.brasilacademico.com/maxpt/links_goto.asp?id=1788).

Assim, Juran faz uso a este conhecimento e faz a sua aplicabilidade à Qualidade, resultando numa ferramenta que identifica um número reduzido de causas que provocam um grande número de problemas. O diagrama de Pareto diz que a maior parte das perdas são devidas a um pequeno número de defeitos considerados vitais e são denominados de “vital few”. Estas são as causas onde deve residir toda a atenção e os esforços para criar e implementar processos que levem à sua redução ou eliminação. Caso exista a medida seja implementada com sucesso, então estará a reduzir-se cerca de 80% os problemas finais. As restantes causas que produzem os restantes 20% de problemas são consideradas menores, mais propriamente de “trivial many”, e o esforço e custo dedicado para reduzir as mesmas pode não ser compensado (Fonte: http://www.brasilacademico.com/maxpt/links_goto.asp?id=1788).

O gráfico de Pareto realça a relação acção/benefício de um sistema, ou seja, pormenoriza a acção que trará melhores resultados. É um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências da maior para a menor e permite localizar os problemas vitais e a eliminação de perdas. Referenciando Juran “ Poucas causas levam à maioria das perdas, ou seja, poucas são vitais, a maioria é trivial.” (Fonte: http://www.brasilacademico.com/maxpt/links_goto.asp?id=1788).

Sabendo o problema a que se quer propor uma solução, os passos para a aplicação desta técnica são:

- Definir os dados a recolher assim como o período de tempo;
- Classificar os dados recolhidos em categorias e quantificar cada uma delas;
- Calcular a percentagem relativa de cada categoria;
- Ordenar as percentagens obtidas por ordem decrescente de valor;
- Representar num gráfico de barras as categorias (eixo horizontal) e as respectivas percentagens relativas (eixo vertical);
- Traçar a curva dos valores acumulados das frequências;

Feito este procedimento, é altura de verificar as causas “vital few” do problema, e implementar um método de modo a que num futuro estas sejam evitadas ou até mesmo eliminadas.

Com esta metodologia fica concluída Revisão Bibliográfica e consequentemente este capítulo.

Capítulo 3

Marinha Portuguesa

3.1- Introdução

É pretendido com este capítulo, fazer um pequeno enquadramento da Marinha Portuguesa, da Classe Vasco da Gama e de uma maneira muito sucinta dos sistemas que compõe a mesma, de forma a esclarecer claramente o leitor sobre o tema da Dissertação e a sua extensibilidade.

Na primeira parte do capítulo será dado a conhecer ao leitor a história da Marinha, das Fragatas, e dos sistemas que as constituem. Na segunda parte irá demonstrar-se tudo o que de Manutenção se faz na Marinha, ou seja, quais os organismos que possuem esta responsabilidade, assim como, o que as mesmas efectuam neste momento para garantir uma prestação eficiente das Fragatas Portuguesas.

De realçar que toda a informação que estará presente neste capítulo foi proveniente de fontes seguras, pois foi fornecida uma parte pela DN (Direcção de Navios), e para complementar esta informação, foi realizado pesquisa bibliográfica que se encontra no capítulo 6.

Por fim, este capítulo será uma importante ajuda para o leitor, pois o mesmo irá enquadrá-lo no tema e base da dissertação, e irá explicar também alguns problemas que surgirão e que desencadearam novos objectivos finais.

3.2- História da Marinha Portuguesa

Citando a Marinha Portuguesa: “Criada com a Nacionalidade, a Marinha Portuguesa tem uma história que se confunde com a historia da Nação, ...”

Os primeiros documentos relativos ao “nascimento prematuro” da Marinha Portuguesa estão datados do séc. XII, assim como as primeiras referências da mesma são em batalhas navais, datadas do mesmo século. Inicialmente a Marinha constituía uma forma de defender e alargar o território Português.

Depois de uma época ascendente da Marinha coincidente com era dos “Descobrimentos”, assistiu-se depois a uma fase descendente. No fim do séc. XIX

iniciou-se a Modernização da frota, inclusive com a recepção de um submarino, o que representava na altura um grande avanço.

Na 1ª Guerra Mundial, perderam-se alguns navios, e apesar de alguns feitos foi notório a falta de meios para defender todo o território Português, onde se incluem as antigas colónias. Essa falha foi sentida também na 2ª Guerra Mundial onde apesar da neutralidade de Portugal, eram escassos os meios caso Portugal tivesse que intervir na Guerra. Depois da Assinatura do “Tratado do Atlântico Norte”, Portugal sendo um dos países fundadores da reconhecida “Nato”, viu-se obrigado a investir novamente na sua frota para estar preparado para cumprir as missões a que era proposto.

Depois desta fase, a Marinha volta a ser chamada, desta vez nas colónias Portuguesas durante a chamada guerra do “Ultramar”. Assiste-se a um elevado número de navios que entraram ao serviço. Terminada a guerra colonial, de guerra predominantemente ribeirinha e costeira, a Marinha volta-se de novo para a sua participação na Nato, investindo e reestruturando o seu dispositivo segundo os padrões das marinhas oceânicas. A maior destas reestruturações e actualizações fez-se no início da década de 90 com a aquisição de três fragatas que constituíam a Classe “Vasco da Gama” que vinha substituir a antiga Classe Almirante Pereira da Silva. Esta nova Classe é constituída pelas fragatas “Vasco da Gama”, “Álvares Cabral” e “Corte Real”.

Num país onde, pelas suas águas jurisdicionais, passam 53% do comércio Europeu e 70% das suas próprias importações, a que acresce um factor relevante como a posição geográfica de Portugal, é notória a importância que a Marinha tem na segurança do comércio, da Economia Nacional e Internacional e de um país como Portugal.

Actualmente, as Missões da Marinha Portuguesa passam por: defesa militar e apoio à política externa, sendo esta uma das principais Missões, a par com a segurança e autoridade do estado e o desenvolvimento económico, científico e cultural.

Para o futuro, existe uma grande incerteza quanto ao panorama estratégico Nacional e Internacional. A médio prazo, estão identificadas apenas participações em missões de manutenção de paz, e de ajudas humanitárias. A longo prazo, e devido à cooperação técnico-militar com os países de Língua Oficial Portuguesa, irá provavelmente necessitar-se de mais recursos. Terão que ser recursos mais actualizados, o que antevê a continuação do investimento na renovação da frota no futuro.

3.3- História da Classe Vasco da Gama

Ao iniciar este novo capítulo, é importante referir o conceito de fragata. Assim, o termo fragata foi reintroduzido no vocabulário pela “Royal Navy” durante a segunda Guerra

Mundial, para designar um navio de escolta anti-submarino, ligeiro e passível de ser construído em elevados números, graças ao seu baixo custo (quando comparado com as unidades clássicas da guerra de superfície: cruzadores e couraçados).

Como já referido, em 1976 a Marinha Portuguesa entra numa nova fase da sua “Vida”, onde a “Guerra da Ultramar estava acabada”, e agora no horizonte estavam as missões decorrentes da participação de Portugal na Nato. A entrada em várias dessas missões pertencentes a esta organização denotou que a frota Portuguesa se encontrava desactualizada e envelhecida, para cumprir com sucesso as várias missões que lhe cabem no contexto da guerra moderna. O problema não era em si a idade da frota da Marinha, pois vários navios do programa de renovação naval dos anos 60 ainda operavam. No entanto estes eram inadequados às novas necessidades operacionais e estavam tecnologicamente atrasados.

A participação na STANAVFORLANT, a esquadra permanente da NATO, foi sendo assegurada pelas fragatas da classe Almirante Pereira da Silva, navios com tecnologias dos anos 60, sem armamento e sensores à altura dos navios das outras marinhas participantes.

É então que em 1976, se iniciam os estudos para dotar a frota Portuguesa de novos meios Navais. No entanto a instabilidade política e financeira do país arrastou este projecto até 1985.

É neste ano que um consórcio alemão dos estaleiros Blohm+ Voss, faz uma proposta ao Estado Português para a construção de três fragatas tipo Meko 200, onde existiria uma ajuda financeira de 60% por parte da Nato. Portugal, depois de muitos atrasos e acordos, avança com o projecto que culminaria com a recepção de 3 fragatas em 1990 e 1991.

Foram os estaleiros Blohm+Voss, que há mais de 20 anos iniciaram este projecto, baseando-se no facto de existir uma plataforma padrão onde todos os sistemas auxiliares são instalados em “módulos” dependendo dos requisitos do cliente. Este projecto facilita assim a construção, e futuramente a manutenção de uma fragata deste tipo. Este conceito já é dos anos 80, no entanto o conceito evoluiu, fazendo surgir novas séries o que demonstra o sucesso deste projecto.

As fragatas Vasco da Gama estão presentes entre os meios mais modernos de combate da Marinha Portuguesa, no entanto estas fragatas, por opção nacional, não são especializadas nem em guerra anti-submarina nem em guerra aérea, tratando-se de navios multi-usos, ou seja, estão aptas para um largo espectro de missões, incluindo as não bélicas.

Actualmente as três fragatas já operam há 20 anos, e apesar de se encontrarem equipadas com novos sistemas de comunicações e controlo, muitos sistemas estão a ficar obsoletos o que faz com que a sua capacidade de resposta já não seja a mesma. As futuras modernizações já estão projectadas, no entanto avançar numa medida deste tipo, é bastante dispendioso, e só será possível mediante um grande esforço financeiro.

Na tabela seguinte constarão os dados das fragatas, que no geral serão iguais para todas elas, pois os projectos são os mesmos, mudando apenas pequenos componentes ou actualizações já realizadas futuramente à sua construção. As características mudam dependendo da fonte bibliográfica consultada:

Comprimento		Velocidade Máxima:	
Comprimento Total	116 m	Motores a Diesel	20 Nós
Comprimento (na linha de água)	109 m	Turbinas a Gás	32 Nós
Boca na linha de água	13,8 m	Guarnição Total	180
Boca no convés	14,2 m	Oficiais	19
Calado de projecto	4,1 m	Sargentos	40
Calado no domo sonar	6,0 m	Praças	102
Deslocamento máximo	3220 ton	Destacamento do Helicóptero	13
Deslocamento útil	2920 ton	Equipa de Abordagem	6

Tabela 3.1 - Características Gerais das Fragatas da Classe Vasco da Gama

Armamento/Equipamento	
Peça de artilharia de 100mm	2x3 reparos de tubos lança torpedos MK46
Peça de artilharia de 20mm	Radar de médio alcance - DA08
2x4 mísseis NATO SEA SPARROW (curto alcance de defesa anti-aérea)	Radar de curto alcance - MW08
2x4 mísseis HARPOON (longo alcance)	Radar de controlo de tiro - STIR
Antena InmarsatB - Comunicações Satélite	Sistema de guerra electrónica - APECS II
Radar de vigilância longo alcance - DA08	Helicóptero Lynx Mk95
Sistema de contra medidas anti-míssil - SRBOC	Sistema de defesa anti-míssil (CIWS VULCAN-PHALANX)
Sonar de médio alcance - AN/SQS 510	

Tabela 3.2 - Características Bélicas das Fragatas da Classe Vasco da Gama Informação retirada de <http://www.marinha.pt/PT/amarinha/meiosoperacionais/superficie/classevascodagama/Pages/NRPVascoDaGama.aspx>

As fragatas estão preparadas para um cenário de multi-ameaça, mas que devido ao seu longo tempo de vida, precisam de ser Modernizadas, principalmente ao nível dos sistemas de armas e sistemas de comando e controlo (NAUTOS, será visto posteriormente). No entanto, estas fragatas vieram dar um salto qualitativo muito considerável em relação aos meios até então existentes na Marinha Portuguesa. (Fonte: <http://forumarmada.no.sapo.pt/docs/FA-Vgama.html>)

Para finalizar, as figuras seguintes correspondem a imagens de fragatas pertencentes à Classe Vasco da Gama.



a)



b)

Figura 3. 1 - a) e b) Imagens das Fragatas da Classe Vasco da Gama

3.3.1- Subsistemas

Como seria de esperar, uma fragata com esta complexidade conta com um sem número de componentes. A respectiva listagem identifica todos os componentes pertencentes à fragata. Para que este trabalho não ficasse demasiado pesado, os diversos subsistemas serão divididos conforme estão divididos na documentação da Marinha, e não se irá descer ao nível da especificação dos componentes. Por exemplo, não se irá especificar a Bomba de Água Doce do Motor a Diesel, mas apenas o Motor Diesel do Grupo 2.

Assim, a Marinha divide o sistema fragata em 7 grupos:

- 1) Casco – Grupo 1;
- 2) Propulsão – Grupo 2;
- 3) Produção e Distribuição de Energia – Grupo 3;
- 4) Comando e Vigilância – Grupo 4;
- 5) Sistemas Auxiliares – Grupo 5;
- 6) Aprestamento – Grupo 6;
- 7) Sistema de Armas – Grupo 7;

Para este trabalho, não serão analisados os subsistemas 1 e 6, pois o primeiro raramente tem falhas, logo do ponto de vista da Fiabilidade pouco ou nada se poderia estudar. O

Grupo 6 porque o aprestamento não tem nenhuma falha que comprometa a navegabilidade da fragata, pois este grupo inclui essencialmente os equipamentos relacionados com a habitabilidade e bem-estar da guarnição. O grupo 7 também não será analisado pois as informações que constam deste grupo são classificadas, e por isso não é possível a sua análise por pessoal não credenciado nem a publicação dos resultados num documento não classificado como o é uma tese de Mestrado.

Foi realizada uma Árvore de Falhas para os restantes grupos/ subsistemas. Dentro dos mesmos inserem-se os equipamentos e dentro destes os componentes. Estes dois últimos já não se encontram representados da Árvore de Falhas. Essas representações constam da lista de Anexos desta Dissertação, para que exista a noção clara do que está pendente em cada subsistema, e que componentes podem pôr em risco a operacionalidade da fragata. Esta análise foi realizada previamente pelo autor desta Dissertação, onde depois, teve a importante ajuda do Eng. Rebocho Antunes para a confirmação do resultado.

A seguir será explicado mais pormenorizadamente cada subsistema pertencente a cada grupo, no entanto apenas constarão os que constam da Árvore de Falhas.

3.3.1.1- Grupo 2

É talvez, a par com o grupo 3, o grupo mais interessante de analisar para quem goste de Mecânica. Aqui se encontram todos os equipamentos do grupo Propulsão das Fragatas, ou seja, os Motores Diesel e as Turbinas a Gás, responsáveis pela mobilidade das fragatas. Cada Fragata é composta por dois Motores Diesel e por duas Turbinas a Gás, e estão distribuídos por dois veios propulsores, um a Bombordo e outro a Estibordo.

Em cada veio poderão encontrar-se um conjunto de equipamentos tais como: 1 motor Diesel, 1 Turbina a Gás, 1 Caixa redutora, 1 Embraiagem, e 1 Linha de Veios onde se encontram as hélices e todos os equipamentos que contactam directamente com o meio exterior.

O sistema de Propulsão do Navio é do tipo CODOG (Combined Diesel Or Gas), com as duas linhas de veios, cada uma constituída por um motor a diesel MTU 12V1163 TB83 de 4420 cv de potência, uma turbina a gás General Electric Lm2500-30 de 30000cv de potência, uma caixa redutora com a respectiva embraiagem para os dois propulsores, e uma hélice de 5 pás, de grandes dimensões e de passo controlável.

Com este sistema de propulsão, é possível passar até 85% do tempo de navegação apenas com os motores de modo a ter um gasto de combustível menor e uma maior

autonomia já que estes possibilitam a chegada até aos 18 nós. Para velocidades maiores, existem as turbinas, que dão velocidade máxima de 32 nós quase imediatamente.

Toda esta potência é controlada a partir da Central de Máquinas através de um sistema computadorizado denominado Nautos, fornecido pela Siemens. Neste momento este sistema é um dos que está a ficar desactualizado. Todo o comando poderá ser feito não só na Central de Máquinas, como na Ponte ou localmente. São várias as redundâncias sempre necessárias num navio de Guerra.

Para a alimentação destes potentes propulsores, a fragata consegue transportar até 360 toneladas de combustível, que por razões de segurança se encontram abaixo do nível de água. Com este combustível a fragata pode navegar até 4100 milhas a 18 nós ou 900 a 32 nós.

O leme dá uma manobralidade ao navio muito boa, fruto de duas linhas de veios propulsoras, com hélices de passo controlável e de rápida reacção. Como inicialmente foi projectada para guerra anti-submarina, existiu um cuidado com a acústica e vibrações, e assim, os motores, turbinas e caixas redutoras estão encapsulados e montados numa estrutura montada em apoios elásticos. O equipamento associado a cada uma das linhas de veios está em compartimentos separados para num cenário de Guerra existir redundância dos equipamentos.

Para ter uma ideia do que estas fragatas são capazes de fazer, elas aceleram desde 0 nós a 32 em dois minutos, e graças às hélices de passo controlável, são capazes de estancar a velocidade máxima em 3 vezes o seu comprimento.

3.3.1.2- Grupo 3

A produção de energia é feita em 4 casas, duas avante e duas à ré, duas a estibordo e duas a bombordo. Existem 4 motores geradores a diesel de 775 Kva cada um.

Cada gerador é capaz de cobrir as necessidades gerais do navio, ou seja, existe no navio 300% de redundância no que toca ao sistema de Produção de Energia. No entanto, a navegar são sempre utilizados 2 geradores.

A distribuição de energia é feita por circuitos de distribuição principais, estibordo e bombordo, que são redundantes também.

3.3.1.3- Grupo 4

Este grupo denominado de Comando e Vigilância inclui os seguintes subsistemas:

- 1) Comando e Controlo;
- 2) Sistema de Navegação;

- 3) Comunicações Internas;
- 4) Comunicações Externas;
- 5) Sistema Vigilância;
- 6) Sistema Vigilância Submarina;
- 7) Contra medidas;
- 8) Direcção de Tiros;

Em caso de falha, os 4 primeiros são impeditivos para a operacionalidade das fragatas, enquanto que os últimos apenas o serão em cenário de guerra.

Os dois primeiros subsistemas são geridos pelo NAUTOS, enquanto que as Comunicações Internas são garantidas pelo ETO (Equipamento Transmissor de Ordens), e as Comunicações Externas através de um sistema integrado de fabrico nacional (EID), contando ainda com um sistema de comunicações por satélite.

Em termos de equipamentos de navegação, estas estão bem equipadas, com um sistema de Navegação electrónico MNS 2000 permitindo obter elementos de várias redes de posicionamento, assim como de GPS. Têm piloto automático, sondas, agulhas magnéticas, radar de navegação, e um sistema meteorológico entre muitos outros sistemas.

Para os últimos 4 sistemas, é de referir que as fragatas dispõem de um sistema de Gestão de Dados Tácticos Navais (NTDS), de sensores e armas, um sistema de combate que trata toda a informação recebida pelos sensores (STACOS), e um sistema de transmissão de dados por satélite SATCOM. Tem ainda um conjunto mais alargado de sensores, radares e mais equipamentos como poderá ser consultado em <http://forumarmada.no.sapo.pt/docs/FA-Vgama.html>.

3.3.1.4- Grupo 5

O grupo 5 é de todos os equipamentos auxiliares, onde se encontram:

- 1) Extinção de Incêndios (através do sistema de Água Salgada ou Outros Meios);
- 2) Produção Água Doce (Sistema de Produção e Distribuição);
- 3) Trásfega de Líquidos (Combustível e Lubrificantes);
- 4) Sistema de Frios (Câmaras Frigoríficas);
- 5) Sistema de Gases (para Motores a Diesel e Turbinas a Gás);
- 6) Leme;
- 7) Ar Condicionado e Ventilação;

O sistema do Leme não deu qualquer falha em nenhuma fragata durante o tempo de teste, o que se pode concluir rapidamente que é um equipamento de fiabilidade elevada. Os restantes subsistemas, serão estudados posteriormente nesta Dissertação.

Existem diversos sistemas de combate a Incêndios, ou não fosse esta uma embarcação sujeita a grandes ocorrências deste tipo devido ao propósito para que foi construída. Existe um sistema de extinção por inundação do compartimento com gás incomburente, Halon, para os compartimentos das turbinas, motores, geradores, paiol de tintas e hangar, bem como sistemas de espuma e pó químico. As fragatas dispõem ainda, através de um sistema de água salgada, de chuveiros para o alagamento dos paios e um sistema de descontaminação. É o NAUTOS que mais uma vez, monitorizando mais de 200 parâmetros, é capaz de avaliar todas as situações e assim tomar uma decisão com base nessa avaliação.

O ar condicionado é um sistema extremamente potente, que trabalha 24 horas por dia. Garante a refrigeração dos vários equipamentos electrónicos, assim como a ventilação do ar dentro da fragata, que é feita por nove módulos de ventilação, que além de filtrar o ar do exterior, condiciona a temperatura e o grau de humidade.

Quanto ao Sistema de Água Doce, as fragatas podem produzir cerca de 30 toneladas através de um vaporizador destilador, ou por um dessalinizador de osmose inversa.

As câmaras frigoríficas têm uma capacidade imensa de armazenamento (aproximadamente 90 metros cúbicos) e transportam cerca de 33 toneladas de mantimentos. Existem câmaras para peixe, carne, pão, bebidas, vegetais e lacticínios e as temperaturas podem diferir de câmara para câmara.

O sistema de evacuação de gases de combustão serve os Motores a Diesel e as Turbinas a Gás. Sem este sistema, a capacidade das turbinas ficaria reduzido em 50%, pois é este sistema que impõe a pressão necessária para o funcionamento das turbinas.

Os sistemas de Combustível e de Lubrificantes, são sistemas de trasfega e alimentação dos mesmos líquidos, que não registam grande quantidade de falhas. No entanto uma falha deixa a fragata apenas com o combustível ou lubrificante que possui no momento, o que restringe o raio de acção da mesma até, como ultima consequência, se imobilizar.

3.4- Manutenção na Marinha

3.4.1- Sistema de Gestão de Manutenção - S.G.M

A função Manutenção é das funções básicas do sistema Logístico da Marinha, tanto pelas interacções que tem com a operacionalidade dos meios navais como pela fracção importante de recursos que consome (ILA 5, 1997).

A necessidade de juntar os vários organismos com interferência nas acções de Manutenção, levou à criação de um organismo de direcção técnica nas áreas da manutenção de todo o material naval. A Direcção de Navios (DN) ficou com esta responsabilidade, no entanto, a gestão de manutenção a nível da Marinha implica planeamento, direcção, controlo e organização, o que levou à criação de um conjunto de doutrinas e procedimentos reunidos num Sistema de Gestão de Manutenção (S.G.M.)

O S.G.M. da Marinha é minucioso e extremamente criterioso, onde as regras de Manutenção estão desde já completamente descritas por vários documentos que, ao longo do tempo, vão sendo actualizados em linha com a evolução da tecnologia, com vista à melhoria da capacidade de sustentação da frota.

Dos vários documentos que dizem respeito à Manutenção na Marinha Portuguesa, destacam-se 3: o ILA 5 (Instruções para a Organização da Manutenção das Unidades Navais e Outros Meios de Acção Naval), O ILDINAV 802 (Manual do Sistema de Gestão de Manutenção e do subsistema de Manutenção Planeada), e o ILMANT 512 (Manual do Sistema de Recolha e Tratamento de Dados - SRTD). Será destes documentos que sairá toda a informação para a realização deste capítulo.

O (ILA 5,1997) refere que a manutenção do material naval respeita todos os níveis de gestão e abrange todo o seu ciclo de vida, desde a concepção ao abate. Por esta frase é possível ter uma ideia da importância da Manutenção na Marinha. Na DN concentram-se todas as divisões pertencentes à Manutenção.

Como é claro nos dias de hoje, todas as acções realizadas sob a alçada da Manutenção, têm várias condicionantes. O mesmo se passa no SGM onde os recursos financeiros, a gestão de abastecimento e até a própria gestão do pessoal são papéis preponderantes para o resultado final desejado (ILA 5,1997).

O objectivo da criação de uma Direcção de Navios é o de estabelecer os princípios gerais da organização do sistema de gestão da manutenção dos meios navais, controlar a sua boa execução e obter o esforço fabril e intervenções especializadas, sempre que necessário. Assim, (ILA 5, 1997) as instruções aplicam-se a todos os comandos, unidades, serviços, órgãos de execução de serviço, estabelecimentos fabris e demais organismos que estejam envolvidos em actividades navais ou outros meios de acção Naval.

O objectivo principal do S.G.M é (ILA 5,1997) o de através dos recursos logísticos disponíveis assegurar:

- 1) Obtenção de graus aceitáveis de Fiabilidade do material;

- 2) Obtenção de elevados coeficientes de disponibilidade operacional dos meios navais;
- 3) Obtenção dos menores custos específicos de manutenção nas diferentes áreas de intervenção;

No entanto, dependendo de cada caso, o objectivo principal é o de tentar encontrar a melhor solução de equilíbrio para as três variáveis. Poderá conseguir-se atingir metas de fiabilidade através de: avaliação sistemática das necessidades de manutenção, e de uma formulação correcta das medidas que correspondem a essas necessidades. Poderá aumentar-se a disponibilidade através da diminuição progressiva de tarefas não planeadas, encurtamento das imobilizações. A redução de custos poderá vir de uma rigorosa avaliação das necessidades, correcta formulação das medidas. E estes são pontos fundamentais do objectivo do S.G.M (ILA 5,1997).

Os elementos fundamentais do S.G.M são o planeamento e a execução (ILA 5,1997). O planeamento compreende um sistema de Manutenção Planeada, enquanto que na execução são identificados os princípios gerais que vão desde a determinação das necessidades, à obtenção e execução do esforço fabril, incluindo as funções de coordenação e controlo.

É assim da responsabilidade da DN, tomar decisões quanto ao tipo de manutenções a efectuar, o controlo técnico-económico global dos custos de manutenção, a determinação das necessidades, as funções inerentes à execução do esforço técnico e oficial, abastecimento, controlo de Qualidade e coordenação. É também da alçada da DN, a avaliação do estado do material que está em armazém, assim como a requisição de material que seja necessário comprar para cobrir a falta de outro (ILDINAV 512,1998).

3.4.1.1- SRTD

A Gestão da Manutenção implica a existência de informação fiel a tempo de servir de base à tomada de decisões (ILMAT 512,1984), obrigando à criação de uma nova sub-função que é desempenhada pelo Sistema de Recolha e Tratamento de Dados (S.R.T.D).

Para conseguir conciliar tantos sistemas e componentes de diferentes tecnologias, impera o princípio da homogeneidade do objectivo, ou seja, sendo diferentes as tecnologias associadas aos diferentes equipamentos, os princípios de gestão de manutenção (planeamento, direcção controlo e organização) são idênticos qualquer que seja a área do material (ILMAT 512,1984). Assim, resulta a possibilidade de uniformizar procedimentos de relatos e processamento de dados gerados por todas as

intervenções de manutenção a nível da Marinha. No entanto, um esforço deste tipo exige a colaboração e ajuda de todos os intervenientes nestas acções, e quando isso não acontece, fica comprometida a integridade dos dados recolhidos pelo SRTD.

O SRTD é um de dois organismos do SGM e tem como objectivo: (ILMAT 512,1984):

- 1) Registrar os dados de natureza histórica, técnica, económica e operacional, gerados pelas acções de manutenção, e transformá-los em tempo útil, em informação, utilizável, ns tarefas da gestão da manutenção (planeamento, direcção, etc...);
- 2) Registrar a experiência passada da utilização do material naval para que seja possível futuros estudos de estatística, de modo a futuramente estabelecer políticas de manutenção adequadas;

O SRTD é um dos dois componentes pertencentes ao SGM, pois o segundo é o Sistema de Manutenção Planeada SMP que está directamente ligado ao SRTD e vice-versa, como demonstra a figura abaixo:

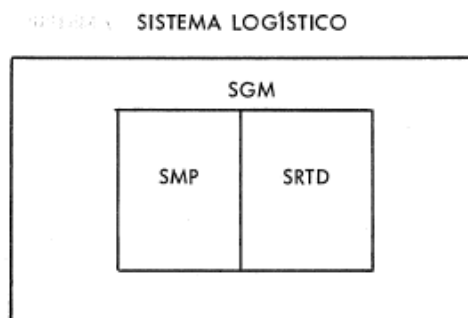


Figura 3. 2 - Componentes do Sistema de Gestão de Manutenção (Fonte: ILMAT 512,1984)

O SRTD comporta em si, um sistema informático que inclui uma base de dados de Manutenção, e esta base de dados é denominada de SICALN (que irá ser mencionada posteriormente). As figuras seguintes, retratam todo o procedimento do SRTD:

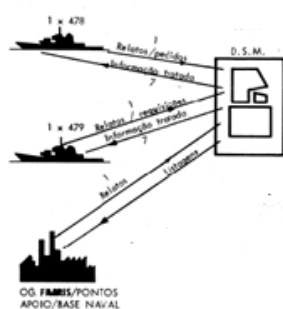


Figura 3. 3 - Várias Inter-Ligações do S.G.M. (Fonte: ILMAT 512,1984)

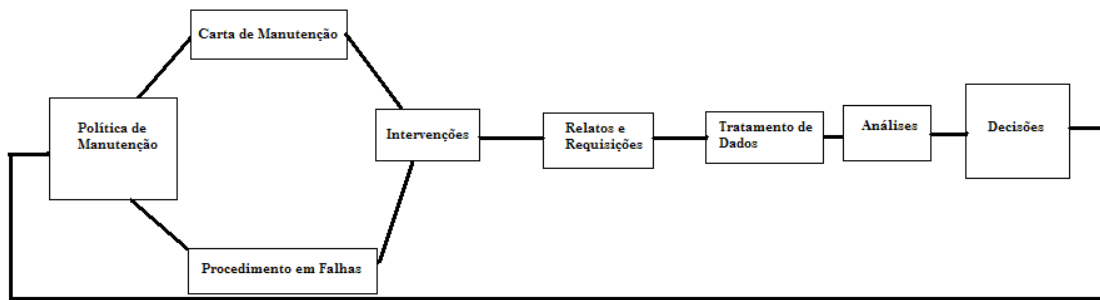


Figura 3. 4 - Funções do SRTD

Na figura 3.6 é possível ver os relatos entre navio e o D.S.M, ou seja, direcção e sistema de Manutenção. Anteriormente eram utilizadas três requisições DSM58, DSM 59 e DSM 60 (não sendo este muito importante para uma análise estatística pois era uma requisição apenas de sobresselentes) e era obrigatório preenche-las em qualquer acção de manutenção. Posteriormente, o SICALN veio informatizar este processo, para que não fosse tão moroso, e é o processo que está em vigor actualmente. O não preenchimento destes dados afecta negativamente o conteúdo informativo da Base de Dados.

Os dados ficam assim acumulados e disponíveis para os vários tratamentos resultantes das necessidades de informação e de outras funções logísticas.

3.4.1.2- DSM 58

Era uma das requisições mais importantes, devido ao imenso leque de informações que continha. Este impresso tinha as seguintes funções entre outras (ILMAT 512,1984):

- Relato de intervenções Preventivas e Correctivas;
- Relatório Anual acerca dos equipamentos;
- Descrição dos trabalhos a requisitar;
- Resumos de documentação técnica com relevo para o navio;

Era constituída por um conjunto de campos que compreendiam desde a data da necessidade e local, o número de horas necessárias para a resolução da falha, até chegar ao relato técnico. Um dos campos principais neste e nas restantes requisições, era o preenchimento do número funcional, onde se iriam efectuar as acções. Este é de bastante importância, pois só assim é possível saber quais os componentes que estão a sofrer manutenções e por isso afectam a disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos. A figura 3.8 demonstra a explicação desse número:

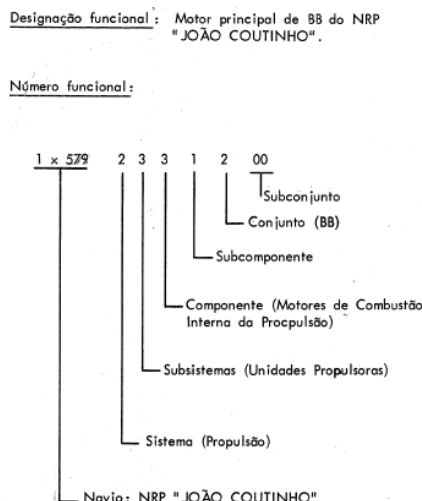


Figura 3. 5- Explicação Número Funcional (Fonte: ILMAT 512,1984)

Este número é composto por 10 algarismos, onde o primeiro algarismo vai de 1 a 7 como demonstrado no subcapítulo “Subsistemas” e são os 7 grupos que compõem a Fragata. Outra solução seria utilizar o número de serie dos componentes, no entanto existem alguns que não possuem este mesmo número, logo poder-se-ia gerar alguma confusão.

Actualmente, o preenchimento manual dos DSM 58 assim como das restantes requisições passou a ser efectuado directamente no SICALN o que permite alimentar directamente a base de dados e acelerar os processos de autorização e processamento das diversas acções a desencadear por cada organismo envolvido.

3.4.1.3- DSM 59

O DSM 59, além de ter um relato Mensal completo da Fragata, como as horas de navegação, combustível utilizado, etc., também inclui os equipamentos seleccionados, que devido à sua importância operacional (são equipamentos que poderiam pôr em causa a utilização da fragata), se deseja acompanhar e monitorizar com mais frequência. Assim também constam as horas de funcionamento e o número de dias que operou etc. Desta forma pode realizar-se um estudo mais aprofundado destes equipamentos.

3.4.1.4- DSM 60

Esta requisição tinha como objectivo o de documentar o consumo de sobresselentes nas intervenções de modo a obter-se o número exacto de sobresselentes que se gastavam nas diversas acções de manutenção. Com esta requisição era também possível realizar uma gestão eficiente dos mesmos.

3.4.2- SICALN

SICALN é a actual base de dados da Marinha, e é a sigla de “ Sistema de Informação de Configuração e Apoio Logístico dos Navios”.

A versão actual já provém de 2005, e tem aos poucos sido melhorada. Esta ideia nasceu em 1995/96, onde a Plataforma era o “ MS-DOS”, em 2001/02 foi passada para “WINDOWS”, e actualmente é o “ ORACLE” que faz essa função.

A ideia foi e continua a ser a de deter uma base de Dados que esteja organizada de modo independente dos possíveis programas que a irão utilizar, para que esse conjunto de dados satisfaça o maior número de funções de gestão. Desta maneira os programas procuram os dados que necessitam para concluir os seus resultados, o que faz com que seja possível o emprego de produtos informáticos já existentes, evitando a necessidade de criar novos programas.

A base de dados contém não só dados relativos aos objectos de manutenção, intervenções e equipamentos, como também dados pertencentes ao Sistema de Manutenção Planeada. Assim, o SICALN opera todo o sistema de Manutenção.

3.4.3- Tipo de manutenção utilizado na Marinha

Antes de iniciar este capítulo, é importante enunciar que quanto à Natureza dos Meios Técnicos e Oficiais a Mobilizar para a execução de uma acção preventiva, ela pode ser (ILA 5,1997):

- Manutenção de 1º Escalão - Trabalhos de Manutenção que implicam substituição de peças e componentes e utilização de ferramenta que estão presentes a bordo do Navio. Está no âmbito dos serviços técnicos Navais;
- Manutenção de 2º Escalão – Trabalhos de Manutenção que implicam a substituição de peças e componentes e utilização de ferramentas que estão presentes a bordo ou a em Terra, e cuja execução exige recursos humanos à disposição do comando administrativo;
- Manutenção de 3º Escalão – Trabalhos de Manutenção, que devido à sua complexidade ou dimensão dos meios técnicos, exigem a capacidade dos recursos existentes ou postos à disposição do Comando administrativo, sendo executados pelo Arsenal do Alfeite.

A política que se pratica na Marinha (ILA 5,1997) é maioritariamente uma política assente na Manutenção Planeada, que compreende:

- programas de manutenção preventiva, que para cada meio naval, define quais os órgãos a manter, e o tipo de manutenção a executar;

- um método de planeamento interno que permite a execução organizada da manutenção requerida;
- um plano de imobilização dos meios navais estabelecido a partir dos seus ciclos de manutenção mais complexa;
- mecanismos eficientes de coordenação com o sistema de abastecimento;
- realização de auditorias técnicas;

No entanto é bastante utilizado, aquando de acções mais pequenas de 1º Escalão, a Manutenção Preventiva Condicionada, pois só quando é visível que um produto está nitidamente desgastado, ou prestes a chegar ao fim do seu ciclo de vida, este é substituído.

No planeamento de acções de Manutenção Preventiva estas deverão estar objectivamente descritas em documentos, denominadas Cartas de Manutenção (CARM). Existem CARM, FIT (Ficha de Trabalho), FREM (Ficha de Relato de Manutenção), LIMS (Lista de Material de Substituição), LEMS (Lista de Equipamentos de Manutenção Semelhante). Não será descrito detalhadamente cada carta, pois essa informação poderá ser encontrada no ILDINAV 802. Aqui estão listadas grande parte das acções possíveis de realizar nos diferentes meios navais, assim como uma listagem completa de parâmetros associados à intervenção desde os sobresselentes de substituição previsível, à quantidade de horas, pessoal e ferramentas necessárias à execução da acção.

Para o Planeamento destas acções, a Marinha dispõe também de Planos a Longo, Médio e Curto Prazo das Manutenções a efectuar por cada meio Naval que dispõem. Para mais informações o documento ILA 5 descreve respectivamente cada planeamento.

Quanto à inserção nos Planos de Manutenção anteriores, é possível ter em cada Programa (ILA 5,1997):

- Grandes Revisões (GR) – Acções de Manutenção de maior extensão e profundidade, que se realizam em torno do ponto médio do ciclo de vida, que normalmente são acompanhadas de modernizações;
- Revisões Intermédias (RI) – Acções de Manutenção quase exclusivamente de 3º Escalão que constituem o último período de indisponibilidade inscrito no ciclo de manutenção definido para cada meio Naval;
- Pequenas Revisões (PR)- Acções de Manutenção maioritariamente de 3º Escalão com o objectivo de cumprir rotinas de manutenção e alterações aprovadas urgentes;

- Revisões Assistidas (RA)- Acções de Manutenção normalmente de 2º Escalão, realizadas ainda em períodos operacionais;
- Intervenções Pontuais ou Eventuais (IE) – Acções de Manutenção realizadas com o objectivo de imobilizar por pouco tempo o meio naval para realizar manutenções correctivas do tipo eventual, urgente, ou muito urgente;
- Docagens (D) – Acções de Manutenção preventivas, destinadas a repor condições pré-determinadas do estado das obras-vivas, seus acessórios e válvulas;

Por fim, ainda é possível a Manutenção na Marinha ser classificada quanto ao processo de Execução (ILA 5,1997):

- Manutenção por Intervenção Directa – em que o meio Naval tem que aguardar pelo reposicionamento do componente que está a sofrer a acção de Manutenção;
- Manutenção por Substituição – a acção de Manutenção apenas substitui a bordo o componente a intervir, por outro previamente reacondicionado;

Como é possível de verificar, as políticas de Manutenção na Marinha são bastante criteriosas, e definidas, na medida que a Manutenção Planeada já está bastante estudada e conhecida.

No anexo I estará presente no Plano de Manutenções da Classe Vasco da Gama de 2005 a 2009, no entanto este plano não foi rigorosamente seguido como será demonstrado posteriormente.

3.5- Conclusão

É assim possível conseguir ter uma pequena ideia do que de Manutenção se faz na Marinha, e assim demonstrar que é bastante complexa mas também muito completa. Se se seguissem todos os passos recomendados, principalmente no SRTD, que é a área onde esta dissertação vai trabalhar, então não haveria muitos problemas de análise de dados. No entanto como irá ser possível verificar, o mesmo não acontece, e não existe ainda cooperação total entre todos os intervenientes da Manutenção, principalmente na introdução dos dados no SICALN. Acresce assim a dificuldade na análise dos dados, e por isso, a apresentação de resultados de Fiabilidade também se torna mais difícil.

Capítulo 4

Recolha de Dados

4.1- Introdução

Depois de revista a bibliografia, é agora mais fácil reconhecer a importância da preparação da base de dados com registos rigorosos de todas as falhas registadas nos sistemas (cada Fragata corresponde a um sistema), que possam influenciar a Fiabilidade, pois esta dissertação baseia-se em dados estatísticos, e numa acentuada dependência da variável Tempo.

Foi necessária uma análise aprofundada e concisa a todos os componentes pertencentes ao sistema, para assim, conseguir obter uma sensibilidade mecânica de modo a possibilitar uma crítica aos dados recebidos (uma base de dados funciona muito bem, no entanto guarda o que introduzirem nela, ou seja, a maioria dos erros advêm de erro humano). Foi necessário também, conhecer a planificação de Manutenção das fragatas, e tentar entender se operou com grande intensidade durante o estudo, ou se pelo contrário, não teve missões que realmente “puxassem” pelos equipamentos, e que por isso poderiam afectar os resultados de Fiabilidade.

Em métodos de análise estatística como este, os dados recebidos ditam o sucesso ou insucesso dos resultados finais que, depois de avaliados, poderão mudar as políticas de Manutenção, e aplicando uma má política, provocará problemas de Fiabilidade, e criar-se-á assim um ciclo vicioso para o estado do material, que assim, depressa se irá degradar, e chegar ao fim do seu ciclo de vida mais rapidamente que o esperado.

Assim, previamente a estabelecer metas e objectivos para um trabalho deste tipo, é necessário saber qual o problema, mas ainda mais importante, as limitações dos dados. Esta última pode fazer com que, se mudem os objectivos iniciais por outros, pois a informação contida neles não é suficiente para chegar a conclusões que se queriam obter nos objectivos, ou mais grave ainda, as informações contidas nos mesmos são completamente erradas ou não são adequadas ao estudo inicialmente programado, o que obriga a uma mudança radical desses objectivos.

Os dados recolhidos, são a matéria-prima deste trabalho, e só com eles é que foi possível conseguir obter esta dissertação. Os dados, provenientes do SICALN, já foram previamente filtrados pelos elementos da Marinha antes de serem entregues para análise. No entanto, e como será possível verificar posteriormente, essa filtragem não foi suficiente, muito por culpa de uma deficiente utilização do SICALN por parte dos intervenientes de Manutenção. Quer seja por ainda não existir uma informação correcta por parte de todos os intervenientes de como usar esta base de dados, ou por erros do próprio programa, foi necessário uma selecção criteriosa de cada falha nos respectivos componentes, o que dificultou este estudo. Esse foi mesmo um dos objectivos propostos pela Marinha:

- Identificar erros “humanos” da utilização do SICALN;
- Identificar erros do próprio SICALN;

Estes objectivos estão descritos no capítulo 6, depois da análise de todos os dados. No entanto, apenas referir que para chegar aos dados que irão ser analisados, foi necessário um processo muito moroso, para efectuar a correcta filtragem de modo a prosseguir o estudo, e para que este não ficasse comprometido logo desde o momento inicial.

4.2- Recolha de Dados

Como já referido anteriormente, a recolha de dados proveio do SICALN, onde foram previamente filtrados.

Como é gerido o SRTD foi também explicado no capítulo anterior, e demonstrado pela imagem 3.6. No entanto, na próxima imagem é possível visualizar a relação Fragata/ SRTD:

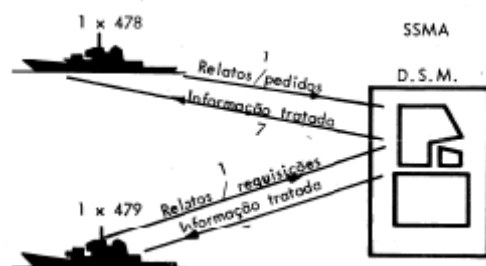


Figura 4. 1 - Transmissão de dados SRTD/ Fragatas (Fonte: ILMAT 512,1984)

Assim, o processo inicia-se por um relato da falha, em caso de Manutenção Correctiva, (antigo DSM 58) onde relatam a necessidade a ser efectuada, com todos os dados necessários a esse relato. Preenchem assim uma requisição online através do SICALN, e assim a DN, fica a conhecer a necessidade do Navio. Posteriormente, essa requisição

será aprovada ou rejeitada pela DN, o que faz com que as acções de Manutenção sejam executadas ou não, dependendo dos casos. Em casos de Manutenção Preventiva, essas requisições são preenchidas pela própria DN. Assim, é possível obter uma base de dados, com dados reais e fidedignos. Este processo, na teoria, não envolve qualquer erro e o correcto preenchimento de todos os campos levava a uma base de dados correcta. No entanto isso não se verifica na prática. Numa visualização rápida, as duas imagens demonstram o que foi enunciado anteriormente:

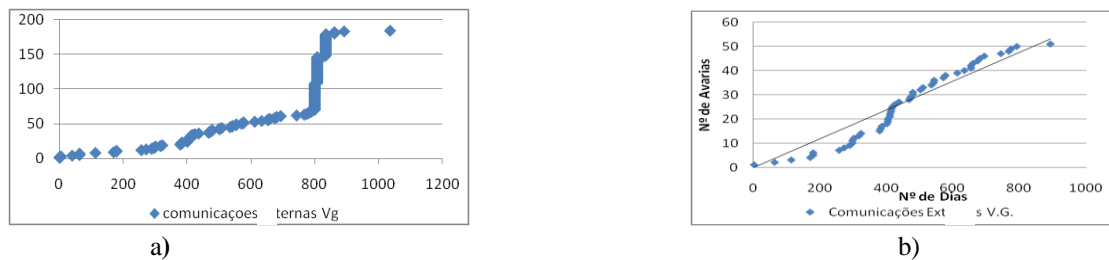


Figura 4. 2 – Gráfico de N° de Falhas em relação ao Tempo (N° de Dias): a) antes do Tratamento de Dados; b) depois do Tratamento de Dados

4.3- Apresentação Genérica da Recolha de Dados

Os dados apresentados já sofreram todas as filtrações necessárias à apresentação presente neste capítulo, e para a análise estatística do capítulo seguinte. Assim, os dados a seguir demonstrados, estarão divididos segundo os respectivos subsistemas, e cada subsistema contém as 3 fragatas, pois como referido todas provêm do mesmo projecto.

A razão pela qual se ficou pelos equipamentos que estão dentro dos subsistemas que por sua vez fazem parte do sistema fragata, e não se desceu para os respectivos componentes foi a extensão do estudo, que assim ficaria demasiado longo, o que não ajudava em nada à resolução e compreensão do mesmo. Descer e especificar os componentes, faria com que muitos dos dados obtidos não fossem relevantes para este estudo, e alguns componentes poderiam até chegar a obter fiabilidade 1, devido a ausência de falhas registadas.

O presente teste, é limitado por tempo, tendo-se tentado estimar a fiabilidade dos vários sistemas através dos dados de tempo de falhas. Em todos os subsistemas irá ser apresentado um gráfico de falhas dos diversos subsistemas em ordem ao tempo acumulado com linha de tendência linear. Assim, será possível (de uma forma muito pouco científica) antever uma taxa de falhas constante, crescente ou decrescente, dependendo se um conjunto de pontos se ajusta ou não a uma recta. Irá também explicar-se a causa que leva a intervalos maiores ou mais curto entre falhas, e conseguir uma explicação lógica daqueles comportamentos.

Os dados recolhidos e toda a análise realizada neste trabalho, será desde 01 de Janeiro de 2006 a 31 de Dezembro de 2009. No entanto, devido ao planeamento das Manutenções Preventivas de cada Fragata, o número de dias acumulados no total do tempo de duração do teste é diferente para cada uma. Assim:

- Fragata A - esteve operacional desde o início do teste até 01 de Agosto de 2008, não retornando à operacionalidade até ao final deste teste, pelo que contabilizou um total de 942 dias;
- Fragata B - foi a única que nunca parou para efectuar nenhuma acção de Manutenção, pelo que contabilizou um total de 1460 dias;
- Fragata C - esteve inoperacional, numa GR de 01 de Setembro de 2006 até ao dia 30 de Junho de 2007, pelo que tem um total de 1158 dias acumulados de operacionalidade.

Para cada Fragata foi somado o número de total de dias de funcionamento, e na Fragata C foi retirado o tempo em que esteve parada para Manutenção, ou seja, fez-se um acumulado de dias seguidos de operacionalidade, como se aqueles 1158 dias tivessem sido seguidos.

Serão apenas apresentados os gráficos que sobressaiam mais, ou os que exemplificam comportamentos idênticos, indo os restantes para o Anexo II.

4.3.1- Grupo 2

4.3.1.1- Introdução

Este subsistema é o grupo da Propulsão, que inclui todos os equipamentos intervenientes na locomoção do Navio. Assim, fazem parte deste subsistema os seguintes grupos:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| • Sistema Comando; | • Caixas Redutoras; |
| • Motores a Diesel; | • Embraiagens; |
| • Turbinas a Gás; | • Linhas de Veios; |

Este grupo é, a par com o grupo 3, o grupo mais “mecânico” de todos. Assim, quanto aos elementos mais críticos, poderão evidenciar-se dois comportamentos distintos. Se a manutenção está a ser devidamente cumprida e está correctamente planeada, então os componentes mais críticos serão os electrónicos, onde existe actualmente na Marinha uma dificuldade na sua Manutenção (por dificuldade em obter componentes novos, que em muitos casos deixaram de ser fabricados, nomeadamente algumas cartas electrónicas). Mas, se pelo contrário os componentes mais críticos forem componentes

mecânicos, é sinal que a manutenção não está a ser devidamente seguida e/ou não é suficiente para o número de horas de navegação das fragatas.

Para uma melhor preservação do ciclo de vida dos equipamentos, foi referido pela parte da DN, que existe uma tentativa constante de ajustar as horas de funcionamento de ambos os motores e turbinas, ou seja, alternando o funcionamento das máquinas de um bordo e do outro de modo a equilibrar o número de horas de funcionamento de ambas.

4.3.1.2- Fragata A

É possível verificar pela figura 4.3 que a taxa de falhas do Sistema de Comando é constante, pois é possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos. Advinha-se assim um PPH para este grupo.

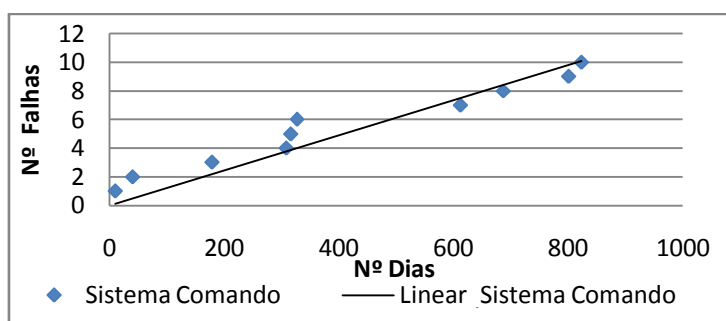


Figura 4. 3 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Sistema Comando

Em termos de falhas, o que salta mais à vista é um intervalo muito curto entre a 4ª 5ª e 6ª falha e um outro intervalo maior entre a 6ª e a 7ª falha. Assim, para o primeiro caso, verifica-se que existiu um maior número de horas de navegação anteriormente à requisição dos serviços, pois são todos feitos no mesmo mês, e existem poucas requisições de manutenções preventivas até aquela data. Para o 2º caso, verifica-se que existiram uma quantidade considerável de reparações preventivas entre estas datas (recuperações de material), e não teve um total de horas de navegação muito elevada entre estas datas.

Na figura 4.4 encontra-se o gráfico relativo às falhas acumuladas do Motor E.B. Não é visivelmente notório nenhum intervalo a criticar. É possível verificar um provável PPH.

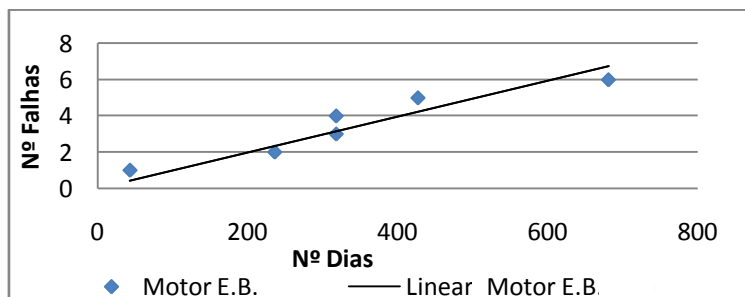


Figura 4. 4 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor E.B

Na figura 4.5 encontra-se o motor de B.B. Já não é possível identificar com tanta certeza se se está perante um PPH. A única explicação possível para um intervalo de falhas tão curto inicialmente, só pode ser explicada pelo número elevado de horas de navegação durante os primeiros meses (esteve em várias missões que exigiu um elevado número de horas de navegação). Comparativamente com o motor de E.B, não existe uma explicação plausível para estas falhas iniciais, pois ambos realizaram aproximadamente as mesmas horas de funcionamento, e realizaram as mesmas acções de manutenção, pelo que o motor de B.B é mais problemático.

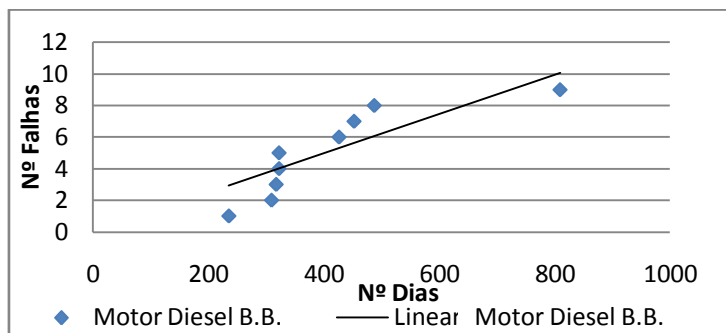


Figura 4. 5 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor B.B

Na figura 4.6 encontra-se a Turbina E.B, onde se advinha um possível PPH. Não é visível nenhum intervalo crítico.

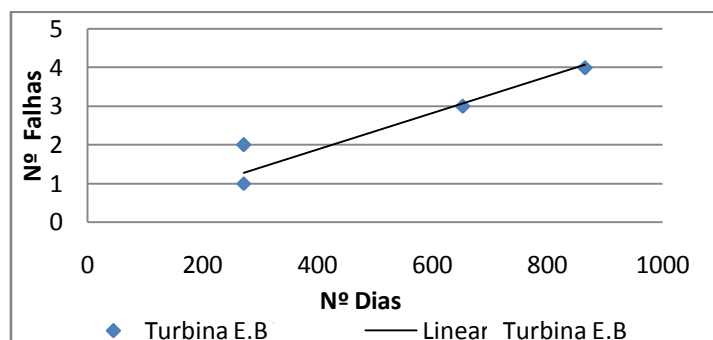


Figura 4. 6 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina E.B

Na Turbina de B.B encontram-se apenas 2 falhas durante todo o teste. Visto o número de horas de funcionamento e acções de manutenção serem aproximadamente às da Turbina de E.B, apenas existe a explicação de que esta Turbina é mais fiável do que a primeira. Nota-se um PPH.

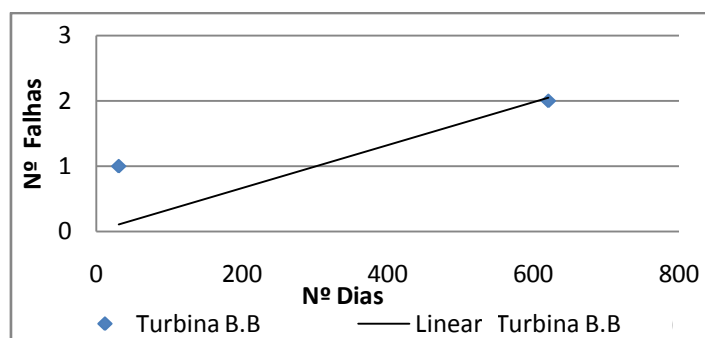


Figura 4. 7 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina B.B

Entrando nas Caixas Redutoras, apenas a de E.B tem duas falhas durante todo o teste. Estes são equipamentos menos passíveis de possuir algum problema, daí as falhas serem poucas ou nenhuma. Ambos os equipamentos receberam consideráveis acções de Manutenção preventiva onde até se incluem Medições de vibrações, pelo que estas duas falhas a E.B, não se explicam, visto ambas terem aproximadamente o mesmo número de horas de funcionamento.

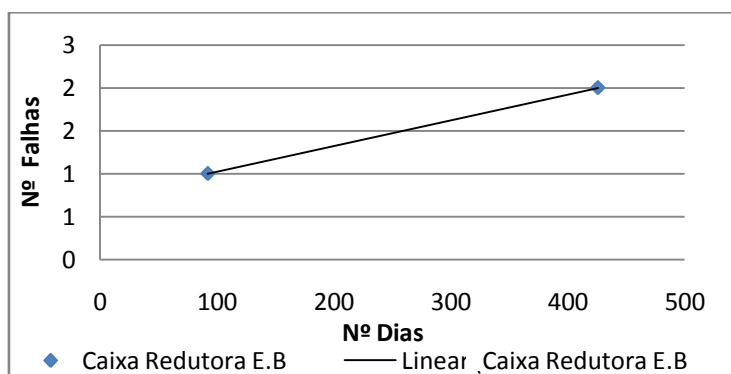


Figura 4. 8 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Caixa Redutora E.B

As embraiagens na Fragata V. G. não registaram nenhuma falha durante o teste. Mais uma vez, este é um equipamento passível de poucas falhas, onde tão pouco se registam acções de Manutenção Preventiva durante o tempo de teste.

Por último, as Linhas de Veios não apresentam dados significativos, pois a E.B não se registaram falhas, e a B.B apenas uma, como é possível de verificar na figura 4.9. Estes equipamentos, sofrem bastantes Manutenções Preventivas aquando do Planeamento de Manutenções pela DN, pelo que essa possa ser uma explicação deste registo. Não será necessário acrescentar linha de tendência, visto que é notório que esta falha provocará uma taxa de falhas decrescente, ou muito perto do mesmo.

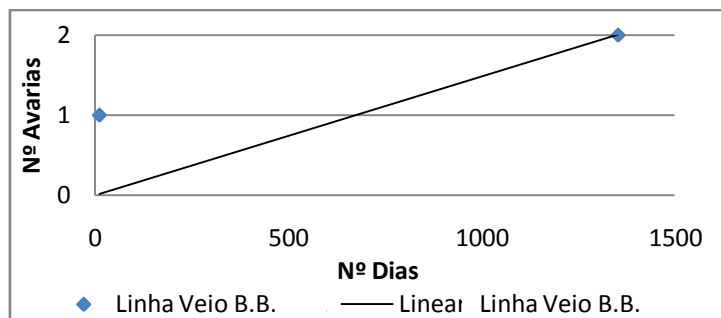


Figura 4. 9 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Linha de Veio E.B

Fica assim concluída a análise de falhas do grupo 2, da Fragata A, onde se detectaram um total de 34 acções de Manutenção Correctiva e um total de 221 acções de Manutenção Preventiva. No entanto, 220 são requeridas pela D.N, e destas, apenas 5 não aparentam ser da lista de requisições de trabalhos a efectuar na Grande Revisão. É claro que apenas 6 acções de Manutenção Preventiva durante 4 anos a um elevado número de equipamentos, não parecem ser suficientes, e é justificativo para o comportamento anormal de alguns equipamentos. A fragata navegou um total de 4316 horas durante todo o estudo, o que perfaz uma média de 135 horas por mês.

4.3.1.3- Fragata B

Esta Fragata, é talvez a que se distinguiu pelo maior número de falhas. Estes valores explicam-se pelo tempo total de Navegação e por ter sido a única durante este teste que não parou para nenhuma acção de Manutenção Preventiva Planeada. Existe ainda o problema que esta fragata enfrentou, pois por atraso da GR da V. G., esta Fragata não pode iniciar a sua GR, pelo que navegou mais horas e como consequência teve um maior número de horas de funcionamento do que estaria planeado. Desde já fica registado esta anomalia para o restante trabalho, no entanto este tema será tratado noutro capítulo.

Na figura 4.10 é possível visualizar o gráfico de falhas acumuladas em função do tempo de Vida do Sistema de Comando. A linha de tendência ajusta-se quase que perfeitamente a todos os pontos, pelo que se avizinha um PPH.

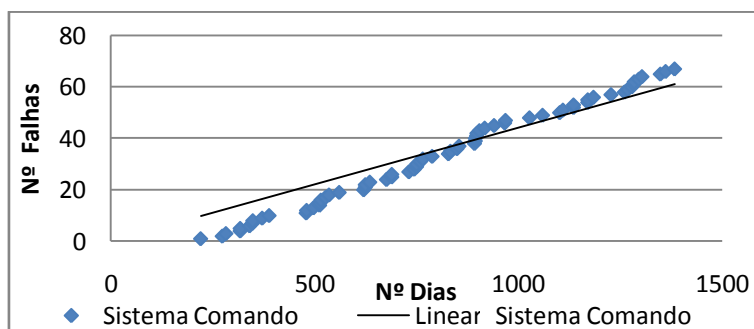


Figura 4. 10 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Sistema Comando

Na figura 4.11 está o gráfico relativo ao Motor E.B., e mais uma vez se antevê um PPH devido ao modo como a recta de tendência se encontra relativamente aos pontos.

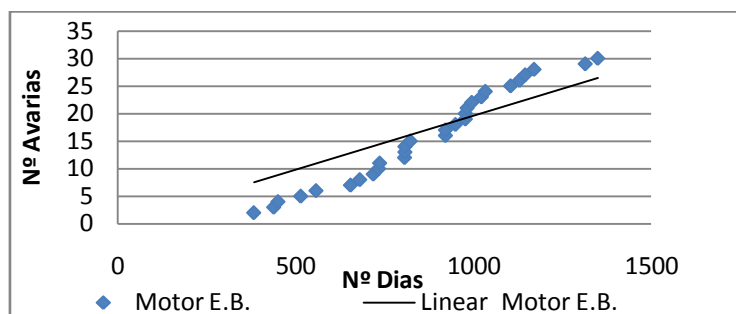


Figura 4. 11 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor E.B.

O motor de B.B, figura 4.12, não foge à regra do motor de E.B (como seria de esperar, devido ao igual número de acções de manutenção e horas de funcionamento), pelo que também terá um PPH.

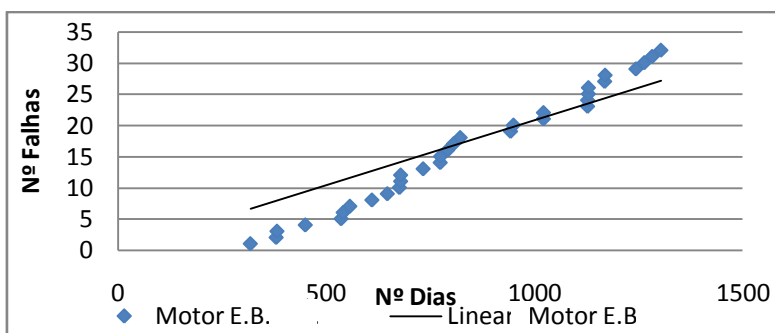


Figura 4. 12 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida do Motor B.B.

No caso das turbinas de E.B e B.B. (figuras 4.13 e 4.14 respectivamente), é difícil adivinhar um possível PPH, pois o tempo de falhas já não é igualmente espaçado.

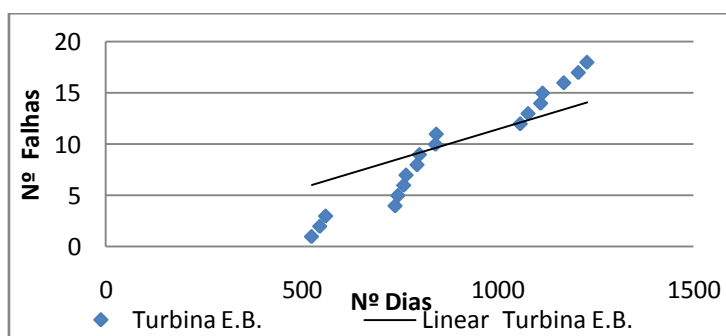


Figura 4. 13 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina E.B.

Na Turbina de E.B. e na de B.B é possível verificar dois intervalos desigualmente espaçados entre falhas no mesmo período de tempo. No 1º intervalo (6 meses) é possível verificar que a Fragata navegou cerca de 1000 horas em dois meses seguidos logo a seguir à acção de manutenção correctiva, mas que até atingir a seguinte

manutenção correctiva, a fragata navegou pouco mais de 400 horas nos restantes meses. De salientar que, logo depois de efectuadas as 1000 horas de navegação, a Turbina sofreu 2 manutenções preventivas, o que afecta o seu comportamento posterior. No 2º intervalo (5 meses) que também se regista na turbina de B.B., apesar das horas de navegação serem uma média de 150 por mês, as turbinas sofreram 35 acções de Manutenção Preventiva, o que altera em muito o seu comportamento.

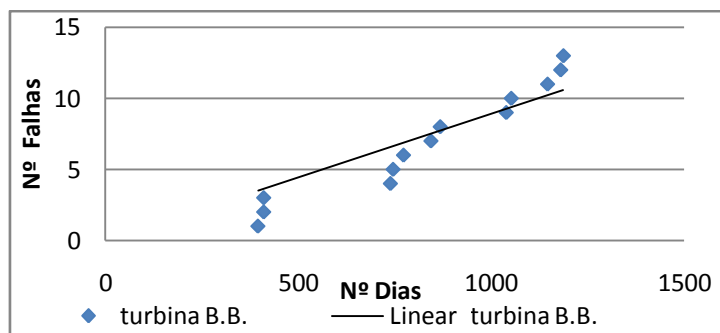


Figura 4. 14 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Turbina B.B.

Nas Caixas Redutoras de E.B. e B.B. (figura 4.15 e 4.16 respectivamente), verifica-se que a de E.B não parece demonstrar um PPH ao contrário à de B.B, no entanto ambas sofrem de tempos desigualmente espaçados entre falhas.

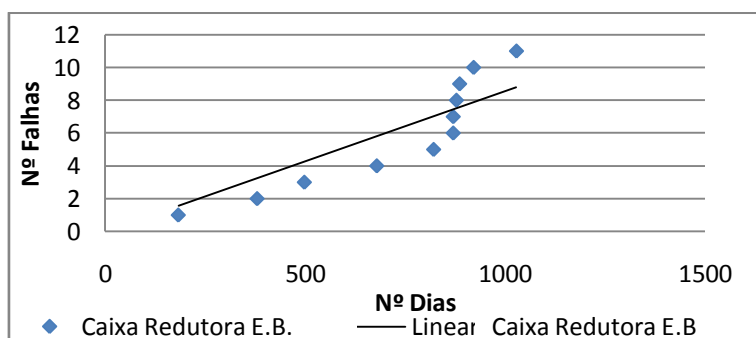


Figura 4. 15 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo de Vida da Caixa Redutora E.B.

Na Caixa Redutora E.B. assiste-se a uma taxa de falhas constante, até que, existe um momento entre o 800º e 1000º dia que se assiste a uma taxa crescente acelerada de falhas. Neste intervalo de tempo, correspondente de Maio a Julho de 2008, não existiram acções de Manutenção Preventiva nem mesmo nos meses imediatamente ou depois desta data, o que parece revelar uma falta de planeamento de acções de Manutenção em pelo menos 4 meses a este equipamento. Para piorar esta situação, os meses de Maio e Junho esta Fragata terá tido uma missão, o que a obrigou a um total de 639 horas de navegação só nestes meses.

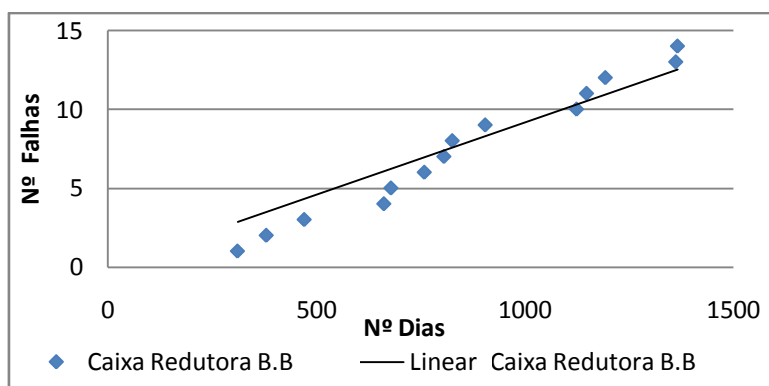


Figura 4. 16 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Caixa Redutora B.B.

Para a Caixa Redutora B.B. advinha-se um Taxa de Falhas constante, pois os pontos aproximam-se relativamente da recta.

Os restantes gráficos dos equipamentos que faltaram encontram-se no anexo II, pois a sua análise não traria nada de novo. Nas Embraiagens só constam uma falha respectivamente em cada bordo, e na Linha de Veios, existem várias falhas em ambos os bordos, no entanto advinha-se um Taxa de Falhas Constante, pois os pontos estão muito próximos da recta e igualmente espaçados entre eles.

De salientar o facto de quase todos os gráficos registarem a sua 1ª falhas depois do 200º dia. A causa deste acontecimento é fundamentalmente a vinda da fragata de uma GR alguns meses antes do inicio deste estudo. Tendo os equipamentos contabilizado poucas horas de funcionamento depois da saída da acção Preventiva.

Assim, é concluída a análise do Grupo 2 da Fragata B, onde se detectaram um total de 203 acções de Manutenção Correctiva, e 243 acções de Manutenção Preventiva, mas sendo 106 listas para a futura grande revisão que esta fragata iria fazer depois deste estudo. Navegou nos 48 meses que durou o estudo, um total de 7185, o que dá uma média de 150 horas de Navegação.

4.3.1.4- Fragata C

O Caso de estudo desta Fragata é interessante do ponto de vista da análise visual dos gráficos, pois se irá deparar com uma distância temporal elevada nas falhas iniciais ou as primeiras falhas já se registarem muito depois do começo do estudo. Isto acontece porque esta Fragata entrou numa G.R. 9 meses depois do início do estudo, e sai da mesma 1 ano depois de ter entrado. Como é normal, depois de uma GR, ou existem pequenas anomalias para serem corrigidas, ou os equipamentos funcionam perfeitamente até muito depois da saída da GR, pelo que se irão assistir aos espaços temporais já enunciados.

É possível verificar pela figura 4.17, que o sistema de Comando da Fragata C tem um comportamento anormal. Existe uma grande diferença temporal entre a 1ª e a 2ª falha, já explicada e depois assiste-se a uma taxa crescente de falhas até ao final do estudo. No 2º Intervalo, estas falhas podem ser explicadas com a vinda da Fragata da G.R. onde posteriormente são acertados algumas manutenções. É interessante verificar que, durante todo este tempo, de Novembro de 2007 a Dezembro de 2008, a Fragata navegou 1593 horas sem nenhuma acção de Manutenção Preventiva neste equipamento. Uma outra explicação para uma taxa de falhas crescente.

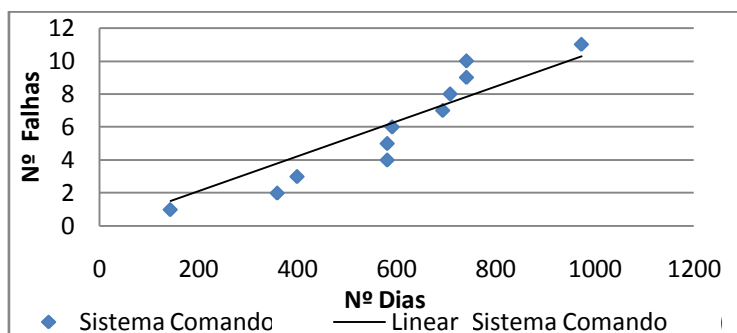


Figura 4. 17 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Comando

No Motor a Diesel de E.B. (fig. 4.18) assiste-se no final a falhas sucessivas que podem ser explicadas pelas 551 horas de navegação do mês anterior (Maio de 2009). No motor de E.B. é visível o intervalo mencionado entre a 3ª e 4ª Falha, enquanto no de B.B. (fig. 4.19) a 1ª falha já se detecta depois de decorrida a G.R.

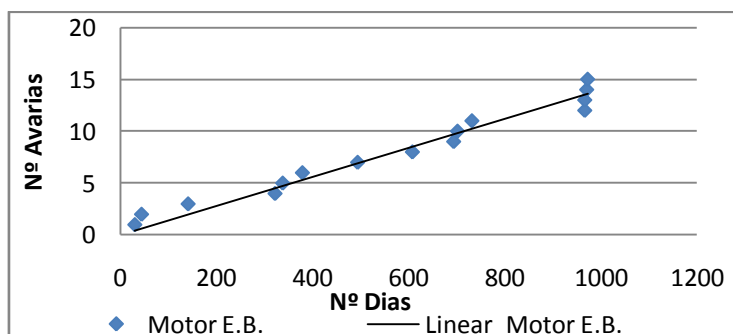


Figura 4. 18 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do motor de E.B.

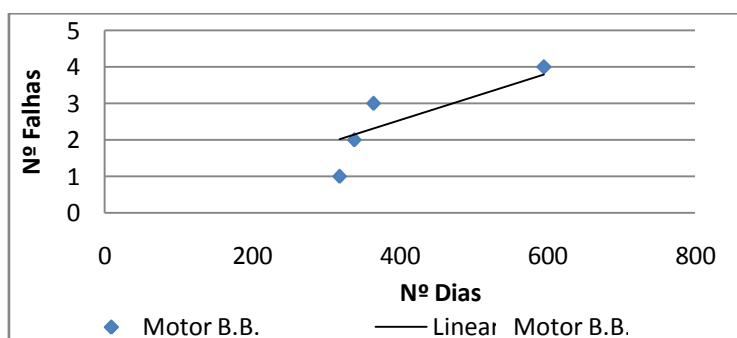


Figura 4. 19 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do motor de B.B.

Para os restantes equipamentos, os gráficos encontram-se no Anexo II. As turbinas, além do intervalo de tempo já explicado, não têm nenhuma diferença para com os gráficos demonstrados anteriormente. As Embraiagens não possuem nenhuma falha ao longo de todo o estudo. As Linhas de Veios, possuem duas falhas cada uma, pelo que não vai acrescentar nenhum factor novo.

Em conclusão, deste grupo da Fragata C detectaram-se 37 acções de Manutenção Correctiva em 3882 horas de Navegação da Fragata o que dá uma média de 108 horas por mês. O número total de acções de Manutenção Preventiva durante todo o teste foi de 296 no total, sendo apenas 129 acções não requisitadas pela DN.

4.3.2- Grupo 3

4.3.2.1- Introdução

Para este subsistema, não será aprofundado o estudo, na medida que irá apenas estudar-se o comportamento dos 4 motores geradores, e não os componentes integrantes dos mesmos. São várias as razões que levaram a esta decisão, no entanto, basta enunciar que existe um outro trabalho a decorrer que aprofunda este grupo, pelo que apenas irei contabilizá-lo para conhecer a fiabilidade do sistema Fragata no final do Trabalho.

Assim, o grupo 3 é constituído por:

- Grupo Gerador 1;
- Grupo Gerador 2;
- Grupo Gerador 3;
- Grupo Gerador 4;

Cada Fragata possui os 4 geradores a bordo, no entanto, é necessário explicar que quando as Fragatas estão atracadas apenas um funciona. Quando estão a navegar, funcionam 2 Geradores simultaneamente, e pelo que foi explicado na DN, só em raras excepções estarão 3 ou os 4 geradores a funcionar.

Pelas informações obtidas na DN, existe a preocupação constante, por parte dos responsáveis deste grupo a bordo, para que as horas de funcionamento de cada gerador sejam iguais para todos, pelo que existe uma tentativa de “jogar” com os geradores de modo a que andem sempre com horas de funcionamento muito próximas uns dos outros.

4.3.2.2- Fragata A

O gráfico seguinte demonstra o comportamento registado para o Grupo Gerador 1, cujo comportamento é muito similar para o Grupo 2:

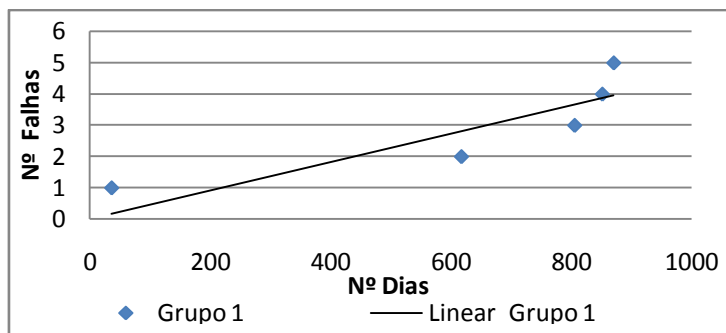


Figura 4. 20 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 1.

É fácil identificar um grande intervalo entre a 1ª e a 2ª falha. Como já referido anteriormente, neste período inicial, a fragata teve um número de horas de navegação elevado (aproximadamente 1000 horas), o que poderia sugerir o contrário. Este grupo operou 3152 horas neste intervalo, enquanto que, no geral do estudo contabilizou 4432 horas. Isto leva a pensar que algo de errado ocorreu.

Quando se verifica as Manutenções Preventivas, não se registou durante todo o tempo de estudo, nenhuma acção deste tipo. Esta será a explicação para o comportamento tão anómalo destes equipamentos.

Na parte final registam-se uma série de falhas, que poderão advir do número elevado de horas de funcionamento, aliado ao facto de não existirem acções preventivas aos equipamentos.

O Grupo 3 e 4, apresentam, visualmente, um possível PPH, onde existe também um intervalo temporal elevado até à primeira falha. A figura 4.21 demonstra o referido anteriormente:

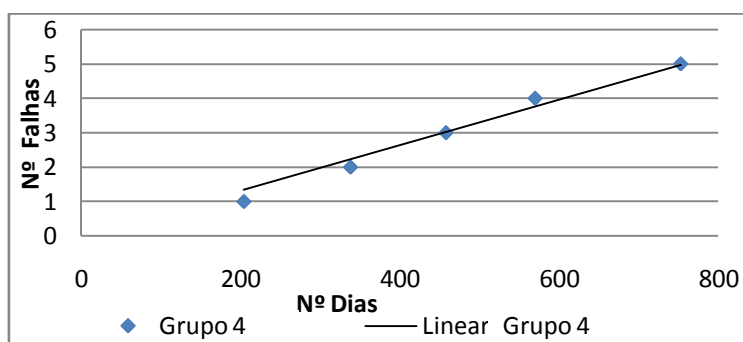


Figura 4. 21 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 4.

Em conclusão, para este Grupo 3 da Fragata A, foram registadas 20 acções de Manutenção Correctivas e nenhuma acção de Manutenção Preventiva durante o período em estudo. Foram registadas 5150, 3257, 5755 e 5793 horas de funcionamento para o grupo 1,2,3 e 4 respectivamente o que totaliza 19955 horas de funcionamento.

4.3.2.3- Fragata B

Mais uma vez se registam comportamentos muito similares entre o grupo 1 e 2, e o grupo 3 e 4 com diferentes comportamentos devido a um menor número de falhas.

A figura seguinte demonstra o comportamento do Grupo 1.

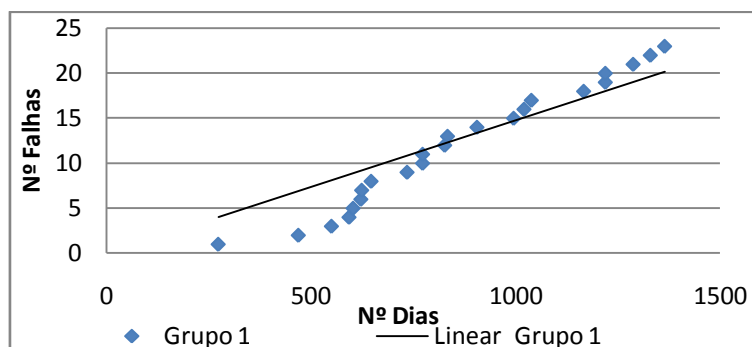


Figura 4. 22 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 1

Inicialmente é possível verificar um curto período sem ser registado nenhuma falha, até se assistir posteriormente a um número crescente de falhas num curto espaço de tempo. Neste período, de Abril a Outubro de 2007, este equipamento operou 1286 horas de funcionamento, não sendo um período exaustivo. Existiram ainda 3 acções de Manutenção Preventiva durante, pelo que a única explicação poderá ser, a par do Grupo 3 da Fragata A, a qualidade dos componentes que será desenvolvida no grupo 6.

A partir desta data, as falhas são aproximadamente coincidentes com a recta, pelo que se avizinha um PPH.

Seguidamente será possível visualizar o gráfico do Grupo Gerador 4.

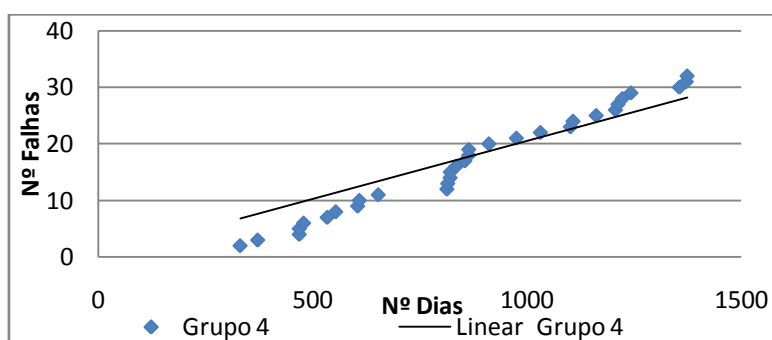


Figura 4. 23 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador Nº 4

Neste caso, inicialmente assiste-se a uma taxa constante de falhas pois este equipamento veio da G.R. e depois ainda sofreu 4 acções de Manutenção Preventivas.

É possível concluir que, este grupo na Fragata B, sofreu 93 acções de Manutenção Correctiva (23;26;12;32 no Grupo 1,2,3 e 4 respectivamente) e um total de 57 acções de manutenção Preventivas, divididas por 15, 16, 16 e 12 por cada grupo e duas por

identificar. Teve 10107, 10689, 10351 e 7830 horas de funcionamento do Grupo 1,2,3 e 4 respectivamente, o que totaliza 38977 horas de funcionamento.

4.3.2.4- Fragata C

Para a Fragata C, verifica-se um número reduzido de falhas (grupo 3 só contém duas falhas ao longo de todo o estudo), e um comportamento idêntico em todos eles. O comportamento que se verificou no Grupo 2, não se verifica aqui, ou seja, depois da saída da G.R. continua a detectar-se falhas nos equipamentos. A explicação para este acontecimento é o acerto de medidas e falhas em testes no alto mar que se efectuam sempre que uma fragata sai de uma G.R. como foi comunicado na D.N. A próxima figura relativa ao Gerador N°1 poderá servir de exemplo para os restantes.

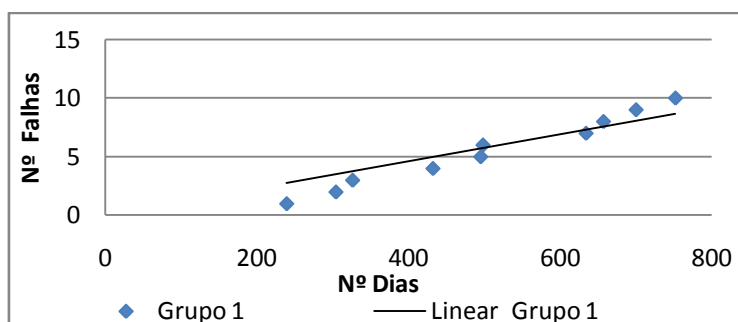


Figura 4. 24 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Gerador N° 1

Em conclusão, verificaram-se 26 (10;9;2;5) acções de Manutenção Correctiva durante todo o período em que decorreu o teste, e 56 acções de Manutenção Preventiva, mas por falta de informação só foi possível identificar 28 pelos respectivos geradores (7;8;6;7), num total de 72649 (17327;18207;17596;19519) horas de funcionamento.

4.3.3- Grupo 4

4.3.3.1- Introdução

Este subsistema é o grupo de Comando e Vigilância. Fazem parte deste grupo os seguintes subsistemas:

- Ar Condicionado;
- Comando e Controlo;
- Sistema de Navegação;
- Comunicações Internas;
- Comunicações Externas;
- Sistema Vigilância;
- Sistema Vigilância Submarina;
- Contra medidas;
- Direcção de Tiros;

Devido a certos condicionantes para realizar a análise num navio de guerra, não irão ser incluídos os últimos 4 subsistemas, pois estes são apenas utilizados em caso de

Combate. Esta regra serve também para todo o trabalho. No entanto, os gráficos estarão presentes no Anexo II apenas para consulta.

O Ar Condicionado entra neste grupo, apesar de pertencer ao grupo 5, pois é ele que garante a operacionalidade de todos os outros. Todos os equipamentos electrónicos necessitam de refrigeração, caso contrário, ao fim de algum tempo deixariam de operar devido a sobreaquecimento.

Para este grupo, devido a uma menor conhecimento dos componentes e equipamentos, a análise para detectar as consequências de uma falha é mais difícil de conseguir. É assim difícil de avaliar se o grupo fica severamente afectado ou não, no entanto tentou-se dentro do possível avaliar todas as falhas e realizar o correcto tratamento.

É importante referir, que estes equipamentos funcionam 24 sobre 24 horas, o que aumenta o número de horas de funcionamento

4.3.3.2- Fragata A

É possível verificar pela figura 4.25 que se antevê um PPH para o Ar condicionado. Apenas de destacar momentos em que aparecem falhas mais próximas como as falhas 4, 5 e 6, e também as falhas 8,9 e 10. Estas falhas ocorrem em meses em que não se verificam muitas horas de navegação, no entanto, este grupo possui apenas uma manutenção preventiva durante todo o estudo, o que pode proporcionar este tipo de comportamento.

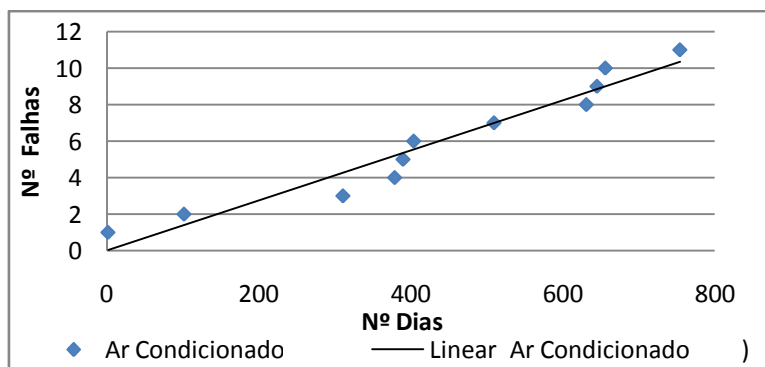


Figura 4. 25 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado

O sistema de Comando e Controlo (fig. 4.26) apresenta um período com uma taxa de falhas crescente. Esse período situa-se entre a falha nº 6 até à falha nº 18. Este intervalo pode ser explicado pelas 1005 horas de navegação durante aqueles meses, ou por possuir apenas uma acção de Manutenção Preventiva neste grupo.

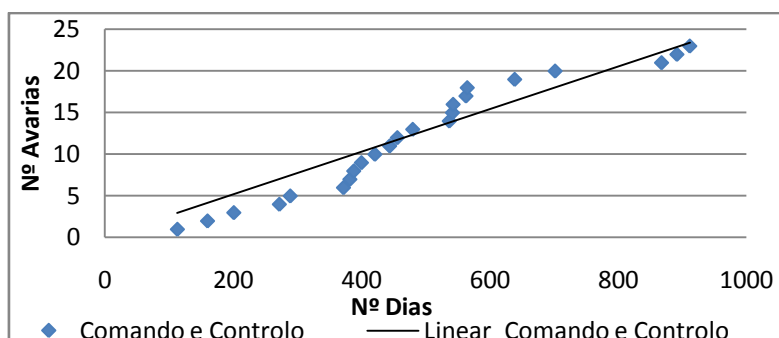


Figura 4. 26 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Comando e Controlo

Os restantes equipamentos têm um comportamento muito idêntico ao Sist. Navegação (fig. 4.27), onde se assiste inicialmente a uma taxa de falhas decrescente. Depois tem um período com uma ocorrência grande de falhas que abranda para o final do estudo. As datas batem próximo uma da outra, pelo que foi necessário compreender o planeamento da Fragata para compreender este comportamento.

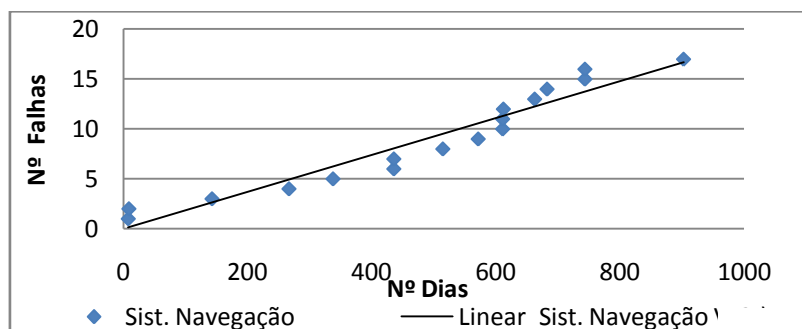


Figura 4. 27 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Navegação

As datas em que a ocorrência de falhas passa a ser maior, ocorre de Setembro de 2006 a Janeiro de 2008, e estas datas registam um maior número de horas de Navegação, um total de 1544, e ocorrem quando esta fragata se encontrava numa missão de âmbito Nato. Estes equipamentos, não possuem também acções de Manutenção durante o tempo de estudo, o que pode explicar estes resultados.

Os restantes gráficos encontram-se em anexo. De salientar que, existiu para esta fragata, um total de 118 acções de Manutenção num total de 4316 horas de Navegação. Acções de Manutenção Preventiva não tem durante todo o teste, apenas acções requeridas pela D.N. para trabalhos a realizar aquando da G.R.

4.3.3.3- Fragata B

A Fragata B apresenta um maior número de falhas como seria de esperar.

É visível (fig.4.28) que este sistema oscila entre fases de taxas crescentes e decrescentes de falhas.

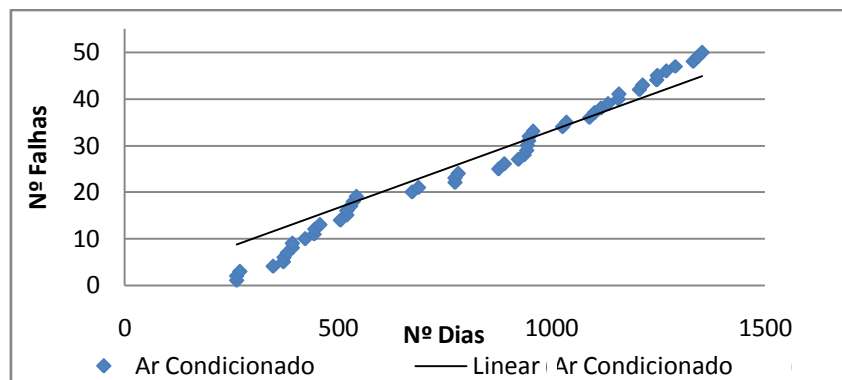


Figura 4. 28 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado

É possível saber que neste subsistema só existiram 9 acções de Manutenção Preventiva, durante todo o estudo. É também curioso verificar que, no momento que se assiste a um decréscimo de falhas, entre Junho de 2007 a Janeiro de 2008, é quando a Fragata mais navegou. Neste caso, a explicação para o resultado é apenas o número de acções de Manutenção Preventiva.

É interessante verificar que os restantes equipamentos se comportam da mesma maneira que o Ar condicionado, em que se salta de momentos de taxas de falhas crescentes a taxas de falhas decrescentes, aproximadamente no mesmo período de tempo. A figura seguinte (fig. 4.29) demonstra o que foi escrito anteriormente.

Para o final, em todos eles existe um número crescente de falhas, pois é a conjugação de 3 importantes factores: o aumento de número de horas navegadas nos últimos meses, a Fragata ter ultrapassado o tempo da G.R., e o facto de estes equipamentos não terem um número suficiente de acções de Manutenção Preventiva.

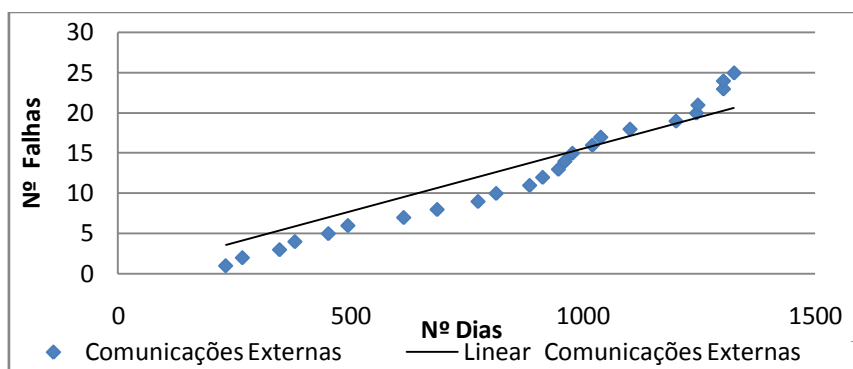


Figura 4. 29 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Sistema de Comunicações Externas

Este subsistema foi assistido 146 vezes em acções de Manutenção Correctivas, não tendo acções de Manutenção Preventiva consideráveis face ao número de acções Correctivas.

4.3.3.4- Fragata C

Mais uma vez, é importante relembrar o facto de esta fragata ter no seu planeamento uma G.R. logo no início deste estudo o que afecta um estudo deste tipo. Assim não é de admirar o facto de não existirem falhas no início do estudo, ou existir um intervalo maior entre falhas.

A figura seguinte também demonstra o acontecimento referido na fragata anterior. Existem intervalos de tempo onde ocorrem variações entre taxas crescentes e decrescentes de falhas, onde os motivos são os mesmos que os anteriormente referidos.

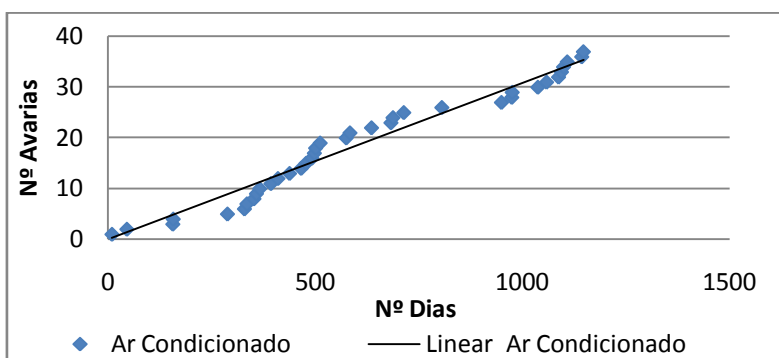


Figura 4. 30 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Ar Condicionado

Os restantes equipamentos, embora com menos falhas, demonstram comportamentos idênticos, e o factor da G.R. não é tão notório como no Grupo 2 por exemplo (fig. 4.31).

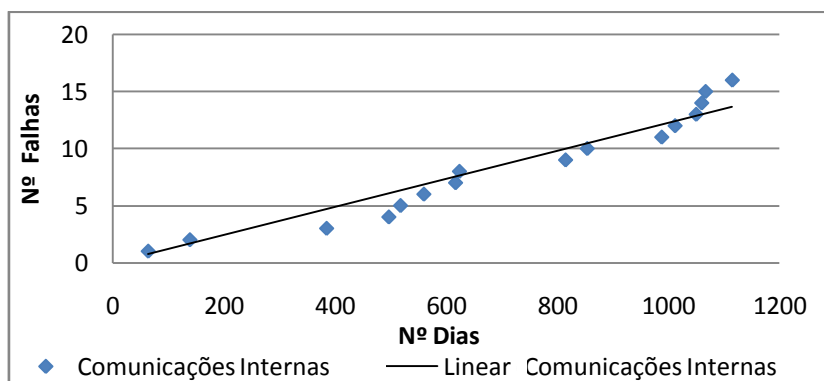


Figura 4. 31 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo das Comunicações Internas

Assim, verificaram-se 110 acções de Manutenção Correctivas. As acções Preventivas, se retiradas as ordens de trabalho da D.N. para a G.R, são em número insignificante comparado com o número de acções correctivas.

4.3.4- Grupo 5

4.3.4.1- Introdução

Este subsistema é o grupo dos Sistemas Auxiliares. Este grupo é constituído pelos seguintes subsistemas:

- Arrefecimento Câmaras Frigoríficas;
- Produção Água Doce;
- Produção Água Potável;
- Sistema Combustível;
- Sistema Lubrificação;
- Sistema Água Salgada;
- Sistema Extinção de Incêndios;
- Sistema de Gases;

Neste grupo, cada equipamento é independente dos restantes e os seus níveis de importância difíceis de analisar. Enquanto no grupo 2 por exemplo, todos teriam que funcionar para haver propulsão, aqui cada pequeno grupo tem uma função dentro da fragata que é diferente dos restantes. Esta dificuldade só foi ultrapassada depois de várias conversas na DN, em que se chegou à conclusão que todos eles tinham que estar operacionais para toda a fragata estar operacional.

De seguida serão demonstrados gráficos acumulativos de falhas em função do tempo e serão explicados comportamentos gerais em alguns componentes. Os restantes poderão ser visualizados no anexo II.

Este grupo não possui um número tão elevado de falhas quanto o anterior, pois poder-se-á dizer que a sua utilização não é tão exaustiva nem têm o mesmo nível de complexidade que os restantes equipamentos.

4.3.4.2- Fragata A

Para esta Fragata, o gráfico seguinte demonstra o comportamento seguido nos restantes equipamentos. Assim, advinha-se um PPH, onde as falhas estão igualmente espaçadas no tempo.

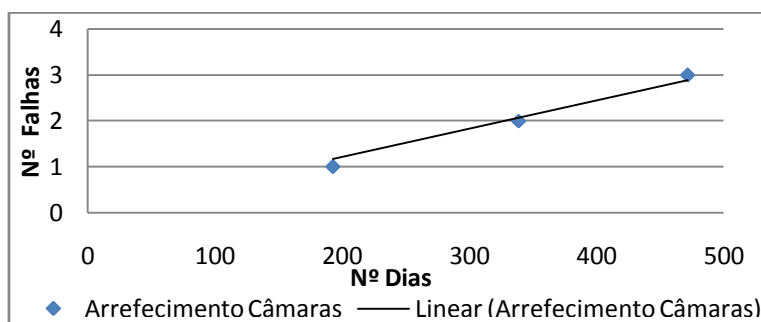


Figura 4. 32 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Arrefecimento das Câmaras

A única exceção a este comportamento verifica-se no Sistema de Produção de Água Doce onde se verificam algumas falhas iniciais anormais. No mês em que apareceram estas 3 falhas iniciais, a fragata nem teve uma utilização muito intensa, no entanto, durante todo o tempo de estudo, não se verificou nenhuma acção de Manutenção Preventiva. Pela descrição presente aquando do relato desta falha, pelo menos duas

parecem ser a mesma, no entanto, por falta de sensibilidade contou-se com elas para o estudo, mesmo enfrentando a possibilidade de adulterar os resultados finais.

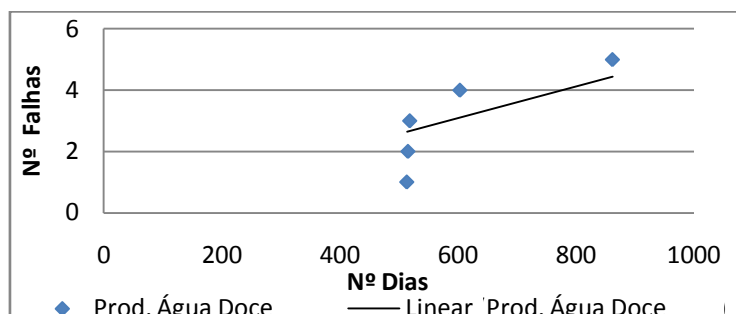


Figura 4. 33 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce

Muitos equipamentos têm uma ou duas falhas, pelo que não seria necessário acrescentar aqui os seus gráficos com o receio de tornar esta análise ainda mais penosa.

Verificou-se um total de 31 acções de Manutenção Correctiva, e um número ainda mais reduzido de acções de Manutenção Preventiva.

4.3.4.3- Fragata B

A Fragata B, pelos motivos já enunciados, contém um enorme número de falhas, até mesmo neste grupo. Assim, a figura seguinte tentará demonstrar os comportamentos dos equipamentos deste grupo.

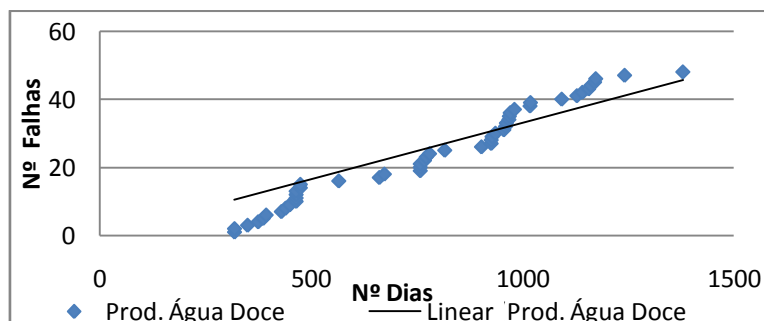


Figura 4. 34 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce

Verifica-se uma taxa de falhas iniciais a que se seguem depois pequenos intervalos onde a taxa de falhas sofre alternâncias entre crescente e decrescente. Os intervalos de tempo onde existem taxas crescentes e decrescentes de falhas correspondem a períodos com maior ou menor utilização da fragata respectivamente. Existe assim uma explicação para essas alternâncias, no entanto, para estes equipamentos verificaram-se apenas 8 acções de manutenção Preventivas, e todas a partir de 2008, pelo que acresce mais um motivo para estes resultados.

Nos restantes equipamentos, as Manutenções Preventivas são quase que inexistentes, à excepção do Sistema de Gases que possui 15 acções de Manutenção Preventiva durante o estudo.

Verificou-se assim um total de 175 acções de Manutenção Correctiva e um número muito reduzido de acções de Manutenção Preventiva.

4.3.4.4- Fragata C

Devido às poucas falhas existentes nos equipamentos deste grupo, só será relevante enunciar o Arrefecimento das Câmaras Frigoríficas, e a Produção de Água Doce, pelo que os restantes equipamentos estão remetidos no Anexo II.

A figura seguinte demonstra o comportamento dos equipamentos do Arrefecimento das Câmaras Frigoríficas. Existe claramente um grupo de falhas que não deixa antever que PP seguirá este pequeno grupo. Este intervalo está compreendido entre Junho de 2008 e Setembro do mesmo ano. Não houve um número elevado de horas de navegação da fragata, pelo que, a única explicação para este acontecimento será a completa ausência de acções de Manutenções Preventivas.

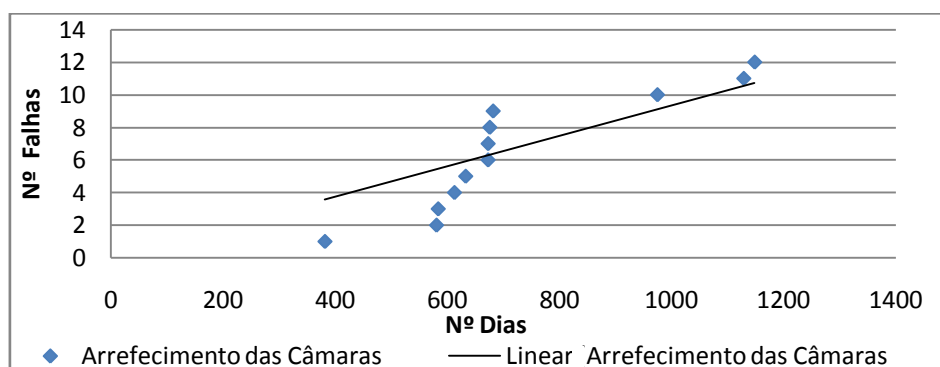


Figura 4. 35 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo do Arrefecimento das Câmaras

A figura seguinte mostra um comportamento já enunciado anteriormente até na Fragata anterior. Assim, o Sistema Produção Água Doce sofre de algumas alternâncias de taxa de falhas, menos visível devido ao um menor número de falhas.

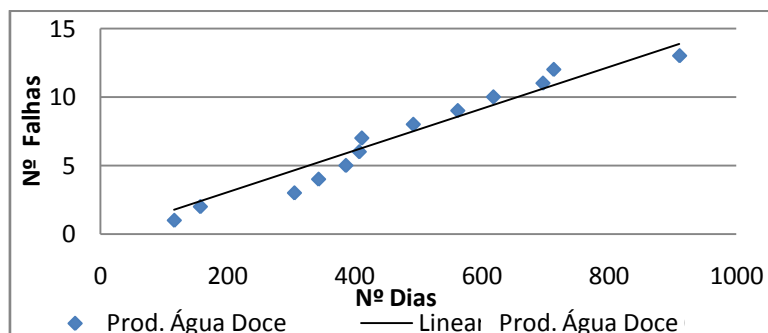


Figura 4. 36 - Falhas Acumuladas em Função do Tempo da Produção de Água Doce

Verificou-se assim um total de 78 acções de Manutenção Correctiva, e um número ínfimo de acções de Manutenção Preventiva.

4.3- Análise Geral

Depois de analisado todos os grupos, retirando alguns equipamentos, é sempre possível explicar o comportamento dos mesmos através do histórico das fragatas. Noutros casos justifica-se com a conhecida curva da banheira, em que inicialmente se detecta uma taxa de falhas decrescente, segue-se um período de taxa de falhas constante, e no fim de ciclo de vida uma taxa de falhas crescente.

Capítulo 5

Análise de Falhas

5.1- Introdução

O estudo de Fiabilidade deverá sempre conduzir a uma tomada de Decisão (Dias, 2002). O presente capítulo servirá para avaliar o comportamento dos diversos subsistemas que compõem as Fragatas, para uma tomada consciente da mesma.

Assim, para o estudo desse comportamento, foi inicialmente realizado o Teste Laplace, que permitiu testar a presença de possíveis Processos de Poisson. Após esta primeira análise, foi realizado um estudo mais aprofundado, seguindo os modelos estilísticos apresentados no capítulo 2.

Alguns indicadores fundamentais para a Gestão de Manutenção não puderam ser apresentados, pois não existiam dados suficientes para o seu cálculo. Foi esta, mais uma vez, a grande dificuldade para a exequibilidade deste trabalho, que foi compensado por outros tópicos. É por este propósito que é inserido o Diagrama de Pareto, pois assim é possível identificar mais rapidamente os componentes críticos dos subsistemas, de modo a actuar-se nos mesmos (Manutenção) e obter-se melhores resultados de Fiabilidade.

A estrutura do capítulo é em tudo idêntica ao anterior, incluindo o facto de serem visualizados alguns gráficos, sendo os restantes remetidos para os anexos.

Por fim, é importante salientar, que nenhum subsistema apresentou valores do teste de Laplace fora do intervalo admitido, pelo que todos os subsistemas serão PPH, ou seja, ROCOF constante.

5.2- Grupo 2

5.2.1- Fragata A

Representado o gráfico de Falhas Acumuladas em função do Tempo no capítulo anterior, a tabela 5.1 fará um resumo de todos os valores calculados:

Sistemas	Fragata A					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Sistema Comando	10	22608	2261	0,00044	-0,702	0,979
Motor EB	6	4025	671	0,0015	-1,206	0,931
Motor BB	9	4024	447	0,0022	-0,675	0,898
Turbina EB	4	1116	279	0,0036	-1,103	0,842
Turbina BB	2	1170	585	0,0017	0,326	0,921
Caixa Redutora EB	2	4975	2488	0,0004	0,326	0,981
Caixa Redutora BB	0	5053	0	0	0	1
Embraiagem EB	0	4975	0	0	0	1
Embraiagem BB	0	5053	0	0	0	1
Linha Veio EB	0	4975	0	0	0	1
Linha Veio BB	1	5053	5053	0,0002	1,622	0,991

Tabela 5. 1 – Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata A

Onde:

Xi – Número de Falhas durante todo o estudo

n- Número de horas de Funcionamento durante todo os estudo

As restantes colunas são metodologias anteriormente explicadas, onde a fiabilidade foi calculada através da equação nº 2.9 em que $\Delta\tau = 48 \text{ horas}$.

O cálculo do MTBF das Caixas Redutoras e Embraiagens não foi possível de obter, pois os mesmos não apresentaram nenhuma falha durante todo o estudo, o que representa fiabilidade igual a 1.

Em seguida, será demonstrado o gráfico relativo às horas de MTBF de cada componente integrante do subsistema Propulsão da Fragata A.

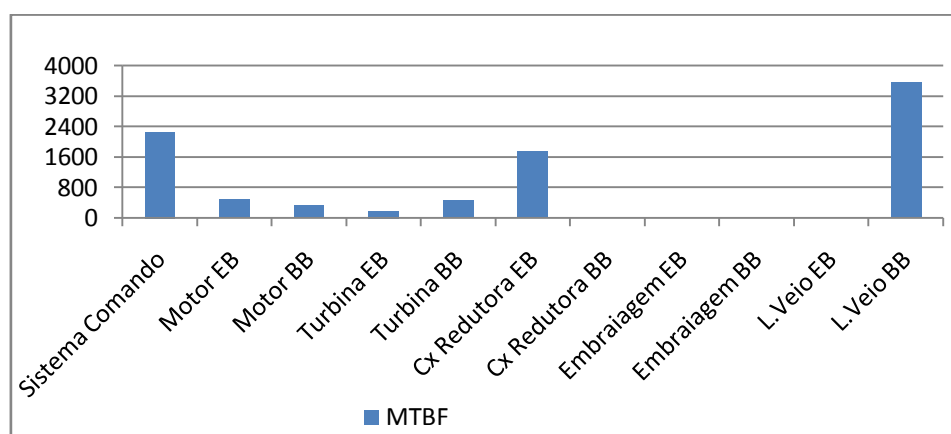


Figura 5. 1 – Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata A

É possível visualizar que os grupos menos problemáticos são as Caixas Redutoras, Embraiagens e Linhas de Veios. O sistema de Comando, tem um elevado MTBF pois apesar de registar várias falhas, possui um número elevado de horas de funcionamento

(trabalha 24 sobre 24 horas), pelo que apresenta um óptimo valor de MTBF. Como seria de esperar devido à complexidade mecânica, os motores e as turbinas são os grupos mais problemáticos, e que põem em causa a fiabilidade o Grupo 2.

Assim, serão apenas apresentados os Diagramas de Pareto dos motores e das turbinas, mas que juntarão os dois bordos. Os restantes diagramas deste e dos restantes equipamentos estão presentes no Anexo V.

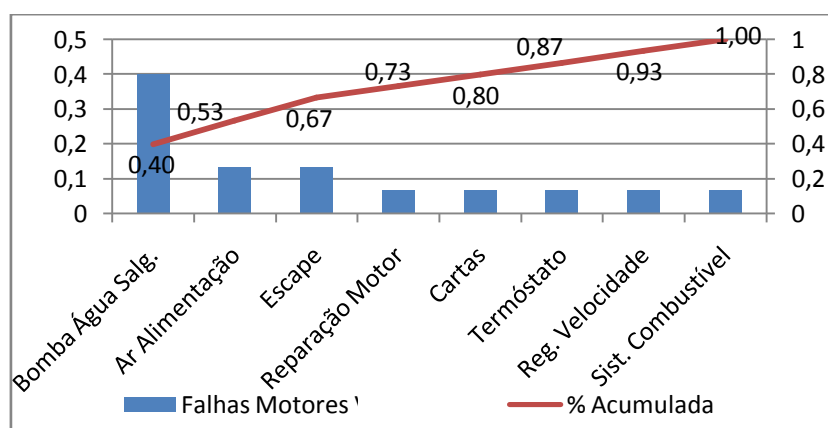


Figura 5. 2 – Diagrama de Pareto dos Motores da Fragata A

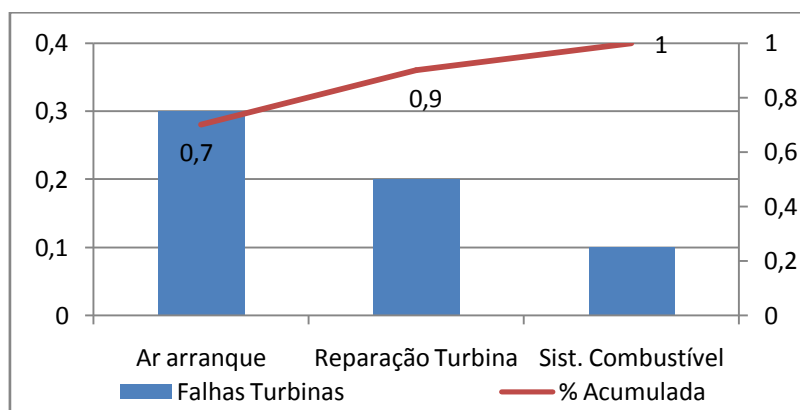


Figura 5. 3 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata A

É possível verificar que, se se actua convenientemente na Bomba de Água Salgada, no Ar de Alimentação e nos Escape dos Motores, este ficariam com uma Fiabilidade Superior. Nas Turbinas a Gás, basta actuar no Ar de Arranque para obter o mesmo resultado.

5.2.2- Fragata B

A tabela 5.2 representa o estudo efectuado para a Fragata B.

Sistemas	Fragata B					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Sistema Comando	67	35040	523	0,0019121	1,523	0,912
Motor EB	30	5755	192	0,0052	1,458	0,779
Motor BB	32	6382	199	0,005	1,545	0,786
Turbina EB	18	2506	139	0,0072	-0,011	0,708
Turbina BB	13	1723	133	0,0075	1,124	0,696
Cx Redutora EB	11	8239	749	0,0013	1,54	0,938
Cx Redutora BB	14	8089	578	0,0017	0,857	0,92
Embraiagem EB	1	8239	8239	0,0001	0,985	0,994
Embraiagem BB	1	8089	8089	0,0001	1,437	0,994
L.Veio EB	9	8239	915	0,0011	0,093	0,949
L.Veio BB	5	8089	1618	0,0006	0,548	0,971

Tabela 5. 2 – Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata B

De salientar que neste caso, todos os subsistemas pertencentes ao 2º Grupo tiveram, ao longo do estudo pelo menos uma falha. No entanto, irá verificar-se pela figura seguinte, que mais uma vez os componentes com maior MTBF voltam a ser as Caixas Redutoras, as Embraiagens e as Linhas de Veio. Destacam-se as Embraiagens, pois as mesmas só possuem uma falha durante todo o teste, o que eleva o valor do MTBF.

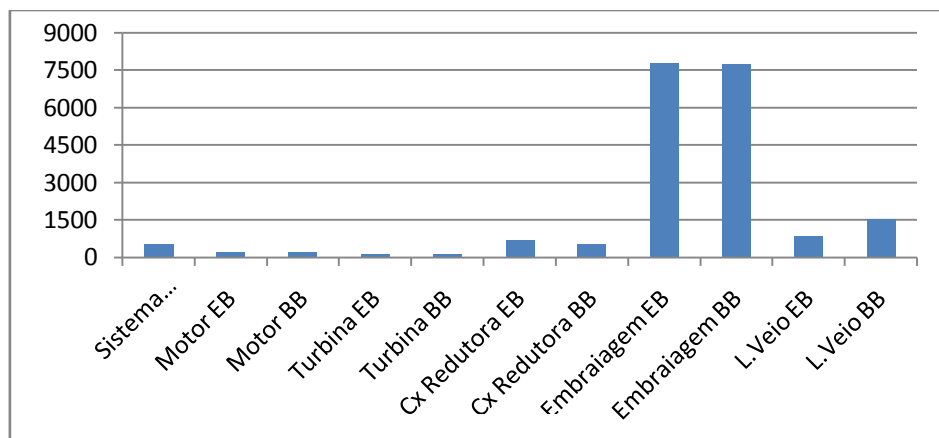


Figura 5. 4 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata B

Pela negativa voltam a destacar-se os Motores e as Turbinas. É apresentado o Diagrama de Pareto destes equipamentos para verificar a causa de tantas falhas.

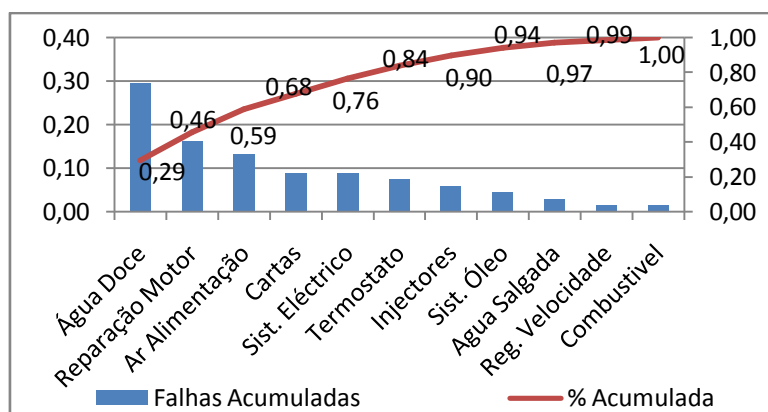


Figura 5. 5 - Diagrama de Pareto dos Motores da Fragata B

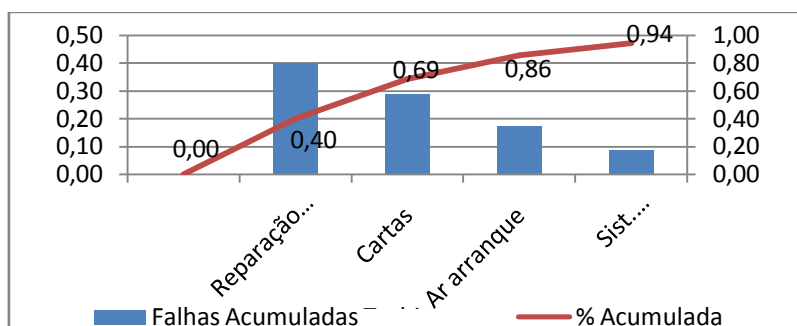


Figura 5. 6 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata B

É possível verificar que a Bomba de Água Doce volta a ser um componente crítico nos motores. Nas Turbinas, devido à falta de informação, apenas se sabe que “reparações às Turbinas” são o maior motivo de falha, seguido das Cartas (material electrónico).

5.2.3- Fragata C

A Fragata C, é um caso de estudo mais complexo devido à sua GR logo no início deste estudo. Assim, a tabela seguinte reflecte os valores do estudo realizado.

Sistemas	Fragata C					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Sistema Comando	11	27792	2527	0,0004	0,127	0,981
Motor EB	15	3608	240,5333	0,0042	-0,249	0,819
Motor BB	4	4089	1022	0,00098	-1,049	0,954
Turbina EB	3	2272	757	0,0013	-0,82	0,939
Turbina BB	4	2111	527,75	0,0019	-0,013	0,913
Cx Redutora EB	4	5880	1470	0,0007	-0,611	0,968
Cx Redutora BB	2	6200	3100	0,0003	-1,032	0,985
Embraiagem EB	0	5880				1
Embraiagem BB	0	6200				1
L.Veio EB	2	5880	2940	0,0003	0,503	0,984
L.Veio BB	2	6200	3100	0,0003	0,011	0,985

Tabela 5. 3 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 2 calculados para a Fragata C

As Embraiagens não apresentam nenhuma falha muito devido à sua Manutenção Preventiva durante a GR. Os motores e as turbinas voltam a destacar-se negativamente. A figura seguinte demonstrará graficamente o MTBF dos respectivos equipamentos.

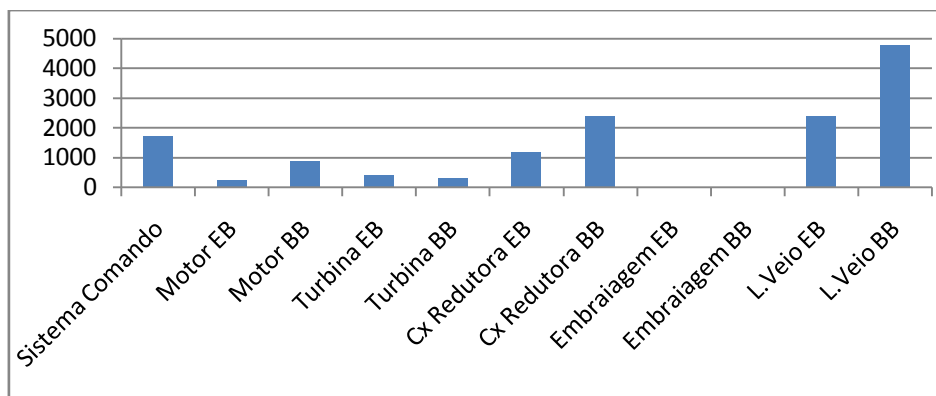


Figura 5. 7 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 2 da Fragata C

Depois de analisado o subsistema dos motores, foi possível reparar que o motor de E.B. é bem mais problemático que o de BB, pelo que o diagrama de Pareto da figura seguinte será apenas deste motor, enquanto que o Diagrama das Turbinas incluirá as duas.

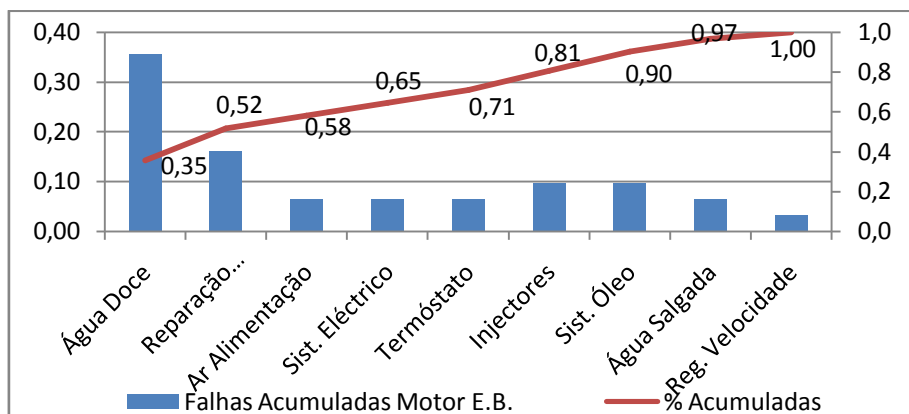


Figura 5. 8 - - Diagrama de Pareto do Motor de EB da Fragata C

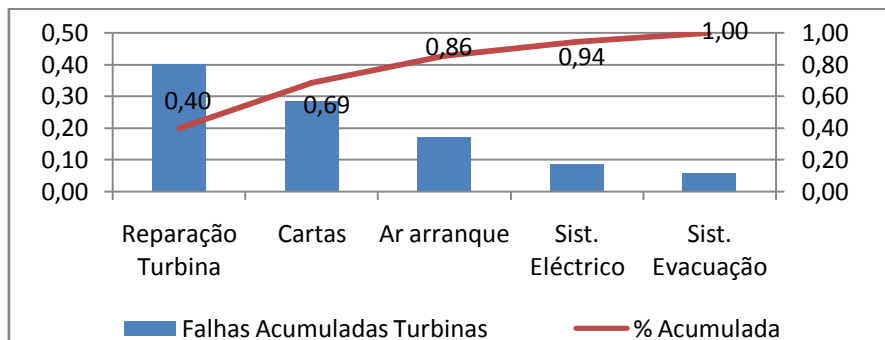


Figura 5. 9 - Diagrama de Pareto das Turbinas da Fragata C

No motor de EB, por falta de dados, não se conhecem as razões das reparações ao motor. No entanto actuando na Bomba de Água Salgada e no Regulador de Velocidade, podem obter-se melhores resultados. No caso das Turbinas, actuar no Sistema de Ar de Arranque fará com que se obtenham resultados mais benéficos.

5.3- Grupo 3

5.3.1- Fragata A

A tabela seguinte demonstra os valores obtidos para os 4 Grupos Electrogéneos:

Sistemas	Fragata A					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Gerador 1	4	5150	1288	0,00077670	1,361	0,963
Gerador 2	7	3257	465	0,00214922	1,08	0,902
Gerador 3	2	5755	2878	0,0003475	0,950	0,983
Gerador 4	3	5793	1931	0,00051787	-0,944	0,975

Tabela 5. 4 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata A

Como é possível observar, os valores estão próximos dos limites aceites para ROCOF constante, estando mesmo o gerador número 3 com uma taxa de falhas crescente.

Na figura seguinte é possível visualizar o gráfico referente aos valores de MTBF destes equipamentos.

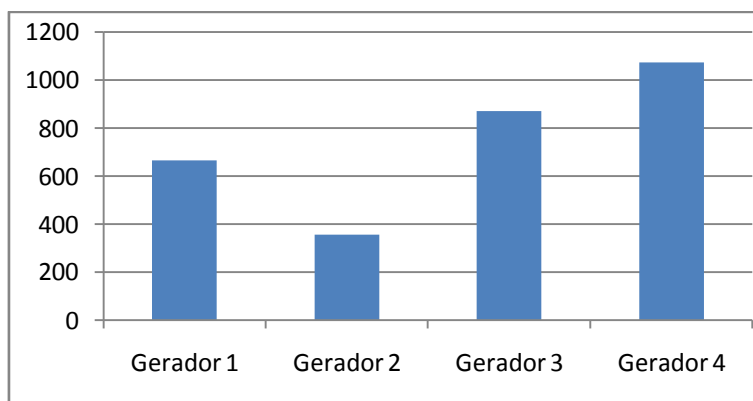


Figura 5. 10 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata A

Apesar do gerador nº 3 possuir uma taxa de falhas crescente, é o gerador nº2 que detém um valor mais baixo de MTBF. No entanto, os valores de MTBF não são suficientemente preocupantes para se realizarem análises diferenciadas para cada um deles. Por esta razão e pelos 4 geradores serem semelhantes, tomou-se a decisão de juntar as falhas e criar apenas um diagrama de Pareto.

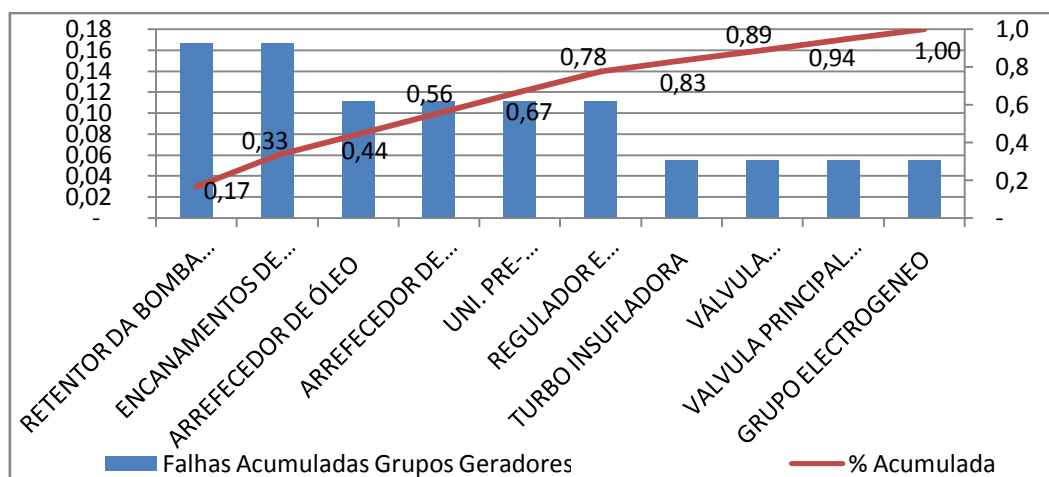


Figura 5. 11 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata A

Para melhorar os valores de MTBF e Fiabilidade deste grupo, era necessário actuar em vários componentes nos 4 geradores. Primeiramente seria actuar nos retentores das diferentes bombas de Água Doce, nos encanamentos de óleo e nas unidades de pré aquecimento.

5.3.2- Fragata B

Para a Fragata B, a tabela seguinte apresenta os valores calculados:

Sistemas	Fragata B					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Gerador 1	22	10107	459	0,002176709	1,402	0,901
Gerador 2	24	10689	445	0,002245299	1,366	0,898
Gerador 3	10	10351	1035	0,00096609	0,651	0,955
Gerador 4	30	7830	261	0,003831418	0,776	0,832

Tabela 5. 5 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata B

Mais uma vez, os valores do teste de Laplace encontram-se dentro do intervalo recomendável de 90% de confiança. A figura seguinte, apresenta os valores de MTBF de cada equipamento.

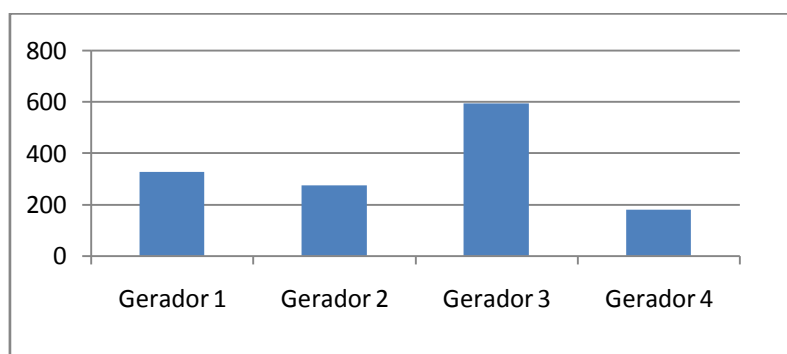


Figura 5. 12- Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata B

É possível verificar que os valores de MTBF destes grupos são consideravelmente mais baixos que os da Fragata anterior. A causa principal foi o elevado número de falhas.

Assim, reunindo novamente todas as causas de falha dos Geradores, é possível visualizar o gráfico da figura seguinte:

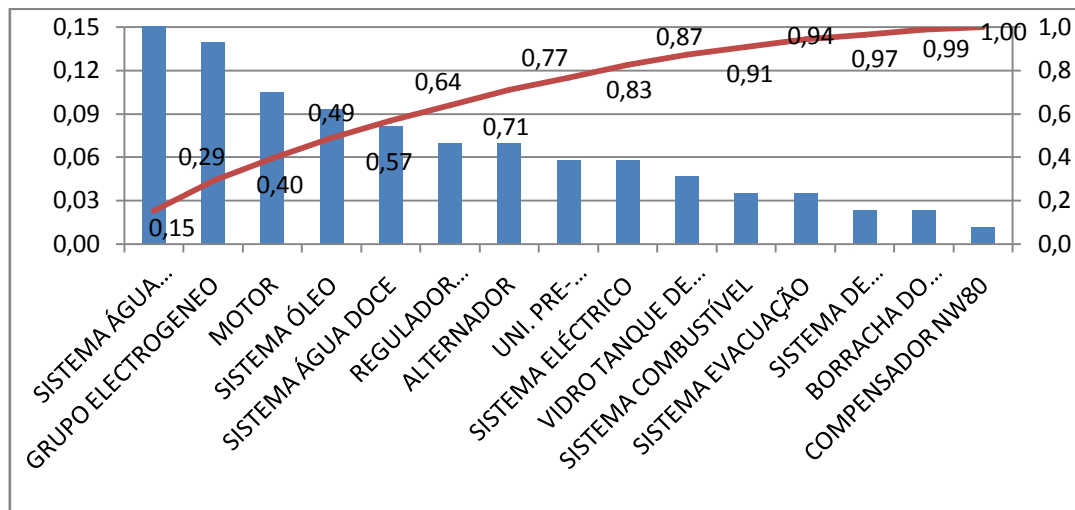


Figura 5. 13 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata B

São vários os componentes a actuar, começando pelos Sistema de Água Salgada e Água Doce.

5.3.3- Fragata C

Para finalizar este grupo, falta visualizar a tabela seguinte com os valores relativos à Fragata C.

Sistemas	Fragata C					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Gerador 1	10	17327	1733	0,00058	-0,712	0,973
Gerador 2	9	18207	2023	0,00049	-1,244	0,977
Gerador 3	2	17596	8798	0,00011	-0,876	0,995
Gerador 4	5	19519	3904	0,00026	0,013	0,988

Tabela 5. 6 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 3 calculados para a Fragata C

Mais uma vez, os valores de teste Laplace encontram-se dentro do intervalo fixado, pelo que se poderão tratar os dados como PPH. Na figura seguinte é possível visualizar os valores de MTBF dos vários equipamentos.

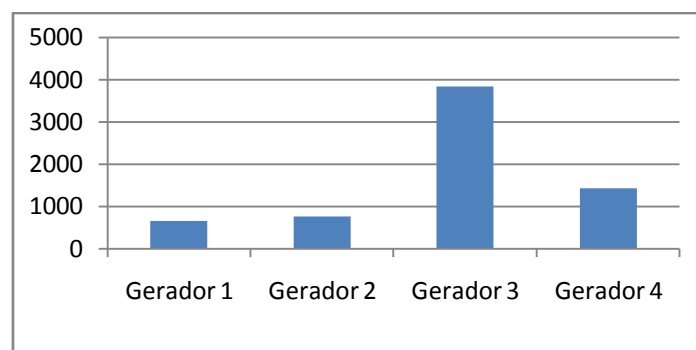


Figura 5.14 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 3 da Fragata C

Neste caso em particular, destaca-se o excelente valor de MTBF do gerador 3, em contraste com os valores dos Geradores 1 e 2. Na figura seguinte é possível visualizar os componentes críticos dos geradores desta Fragata.

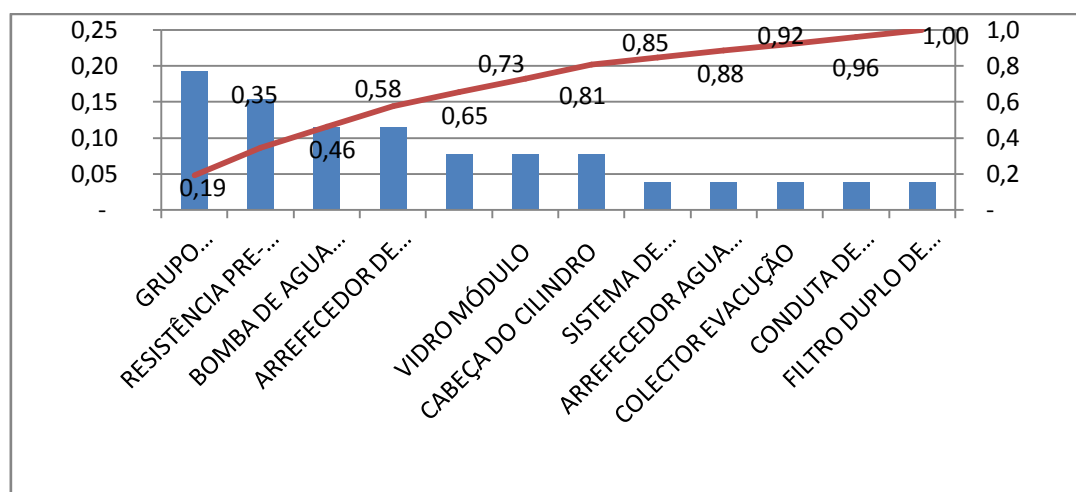


Figura 5. 15 - Diagrama de Pareto do Grupo 3 da Fragata C

Volta a acontecer o mesmo fenómeno dos equipamentos anteriores, ou seja, para obter valores óptimos é necessário actuar em vários componentes. Desconhecendo a causa que provoca maior falhas, é necessário actuar primeiramente nas unidades de pré-aquecimento e nas bombas de Água Doce.

5.4- Grupo 4

À excepção do Ar Condicionado, este é um grupo constituído essencialmente por componentes electrónicos e por isso seria de esperar menos falhas do que as registadas.

Entre as muitas causas, destacam-se os muitos anos de funcionamento, o facto de alguns destes sistemas não acompanharem a evolução da Tecnologia, o que faz com que alguns destes equipamentos estejam obsoletos ou já não existam peças para substituir as antigas.

5.4.1- Fragata A

A próxima tabela demonstra os valores obtidos para os equipamentos do Grupo 4:

Sistemas	Fragata A					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Comando e Controlo	23	25859	1124	0,000889	0,236	0,958
Sist. Navegação	17	6510	383	0,002611	0,258	0,882
Comunicações Internas	16	22608	1413	0,000708	0,384	0,967
Comunicações Externas	51	22608	443	0,002256	-0,394	0,897
Ar Condicionado	11	22608	2055	0,000487	-0,441	0,977

Tabela 5. 7 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata A

Pela figura seguinte, é possível visualizar, que os sistemas mais problemáticos são o Sist. de Navegação, e as Comunicações Externas, devido aos seus baixos valores de MTBF. O primeiro subsistema é o mais crítico.

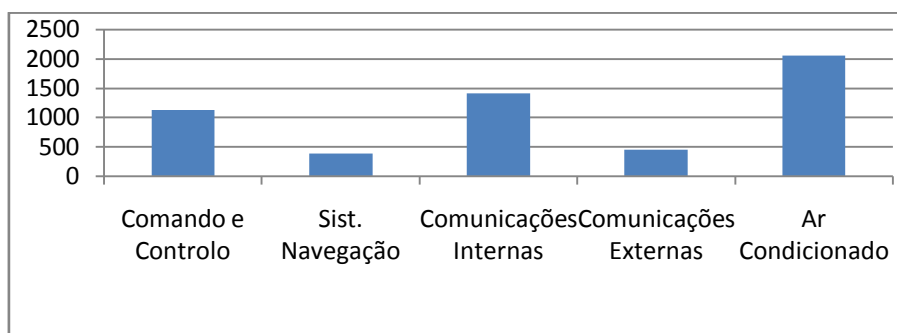


Figura 5. 16 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata C

Pelo diagrama de Pareto, é possível identificar quais os componentes pertencentes a este subsistema mais críticos:

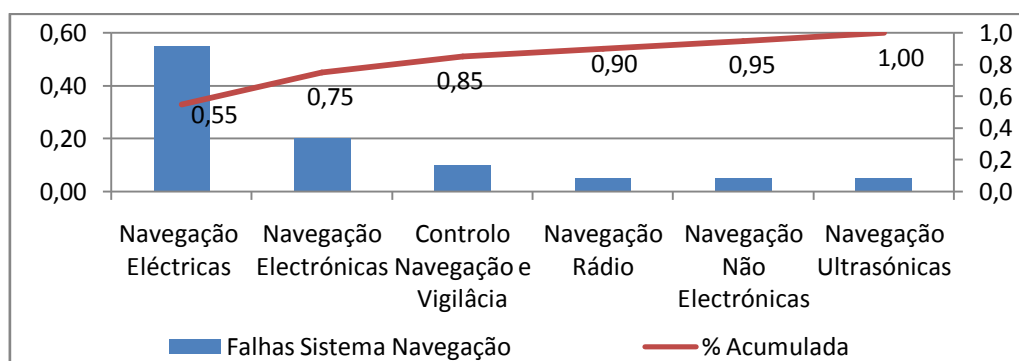


Figura 5. 17 - Diagrama de Pareto do Sistema de Navegação da Fragata A

Para obter melhores resultados teria que se actuar no Sist. Navegação Eléctrico e Electrónico.

5.4.2- Fragata B

A tabela seguinte demonstra os resultados obtidos para esta Fragata, onde novamente os intervalos do teste Laplace ficam muito próximos do limite superior.

Sistemas	Fragata B					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Comando e Controlo	27	37211	1378	0,000726	1,368	0,966
Sistema Navegação	20	16910	846	0,001183	-0,742	0,945
Comunicações Internas	25	35040	1402	0,000713	0,793	0,966
Comunicações Externas	24	35040	1460	0,000685	1,465	0,968
Ar Condicionado	49	35040	715	0,001398	1,548	0,935

Tabela 5. 8 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata B

Neste caso, como é possível verificar na figura seguinte, é o Ar Condicionado, o sistema mais problemático e com um MTBF mais baixo. O valor de MTBF do Sist. Navegação é um pouco mais elevado, mas igualmente preocupante.

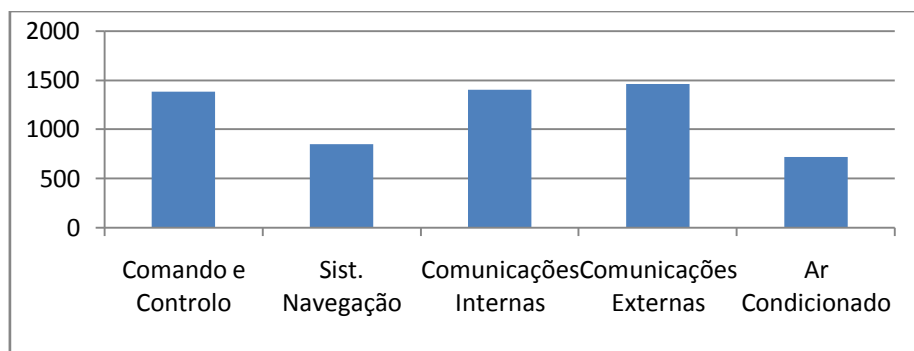


Figura 5. 18 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata B

Na figura seguinte, pelo diagrama de Pareto, é possível verificar quais os componentes que põem em risco a operacionalidade do Ar Condicionado.

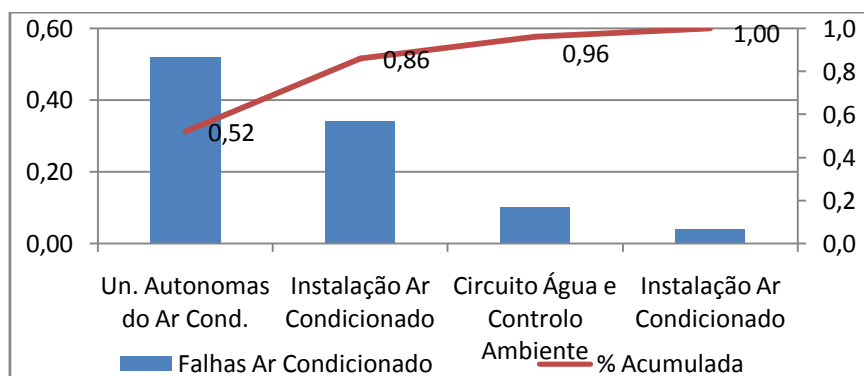


Figura 5. 19 - Diagrama de Pareto do Sistema de Ar Condicionado da Fragata B

Para melhorar os valores de MTBF do Sistema do Ar Condicionado, bastaria actuar nas Unidades Autónomas do Ar Condicionado.

5.4.3-Fragata C

Tem-se por fim a respectiva tabela da Fragata C, onde é notório um défice dos valores de MTBF do Sistema de Ar Condicionado e das Comunicações Externas:

Sistemas	Fragata C					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Comando e Controlo	12	23797	1983	0,000504	0,854	0,976
Sistema Navegação	12	22671	1889	0,000529	-0,513	0,975
Comunicações Internas	16	27792	1737	0,000576	1,571	0,973
Comunicações Externas	33	27792	842	0,001187	-1,133	0,945
Ar Condicionado	37	27792	751	0,001331	0,751	0,938

Tabela 5. 9 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 4 calculados para a Fragata C

Na figura seguinte é possível verificar visualmente os resultados anteriores:

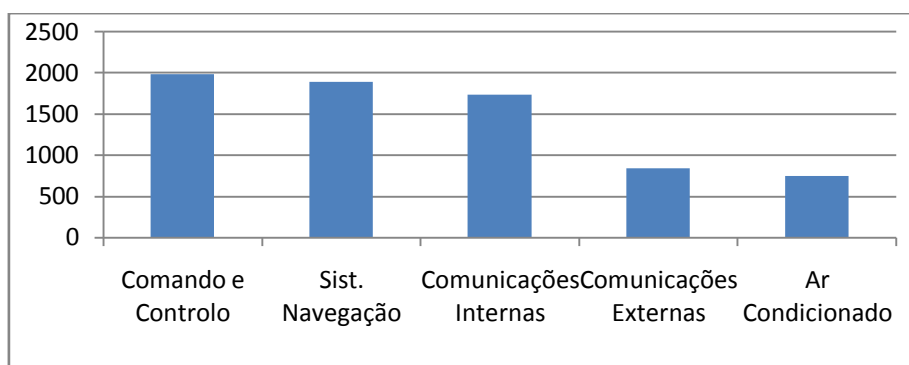


Figura 5. 20 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 4 da Fragata C

Assim, pela figura seguinte será possível identificar os componentes críticos do sistema de Comunicações Externas, visto que os componentes críticos do sistema de Ar Condicionado são os mesmo que os da Fragata anterior.

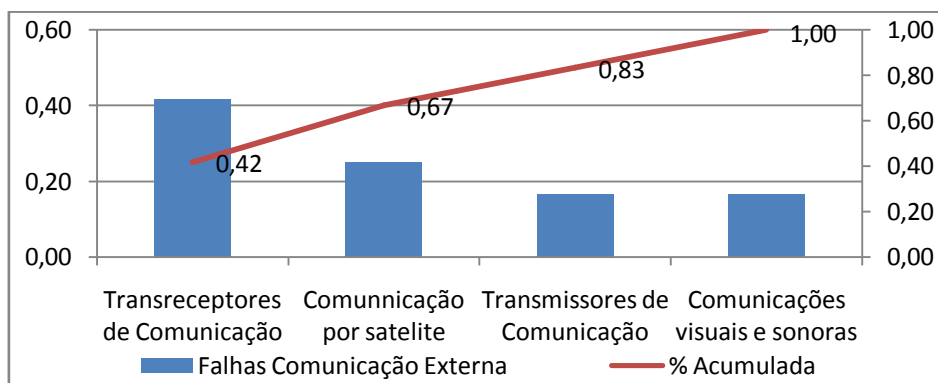


Figura 5. 21 - Diagrama de Pareto do Sistema de Comunicações Externas da Fragata C

Com vista subida do valor de MTBF pela figura anterior é possível concluir que será necessário actuar no Sist. de Comunicações por Satélite e nos Transreceptores de Comunicação para o subsistema de Comunicações Externas.

5.5- Grupo 5

Para este grupo, destaca-se o facto de o Sistema de Lubrificantes e o Sistema de Água Salgada só terem uma falha na Fragata A e Fragata C respectivamente.

5.5.1- Fragata A

Na tabela seguinte, apresentam-se os valores obtidos depois de efectuados os respectivos cálculos.

Sistemas	Fragata A					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Arrefecimento das Câmaras	3	22608	7536	0,000133	-0,868	0,994
Produção Água Doce	5	2864	573	0,001746	1,086	0,92
Água Potável	3	22608	7536	0,000133	0,446	0,994
Combustível	2	2864	1432	0,000698	0,571	0,967
Lubrificantes	1	22608	22608	0,000044	0,747	0,998
Extinção de Incêndios	2	22608	11304	0,000088	-1,103	0,996
Sistema de Gases	4	22608	5652	0,000177	-0,065	0,992
Água Salgada	0	0	0	0	0	1

Tabela 5. 10 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata A

Mais uma vez, os valores do teste de Laplace encontram-se dentro do intervalo admissível. Na figura seguinte é possível visualizar o MTBF dos respectivos equipamentos.

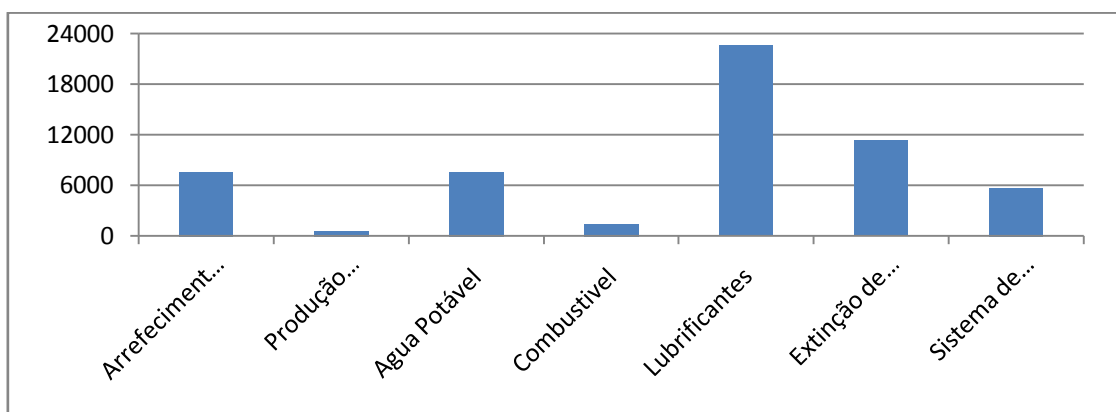


Figura 5. 22 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata A

Com valores mais baixos, destacam-se a Produção de Água Doce e o Sistema de Combustível, no entanto, é o primeiro que é mais preocupante.

Na figura seguinte é possível visualizar qual ou quais os componentes onde actuar primeiro para elevar o valor de MTBF.

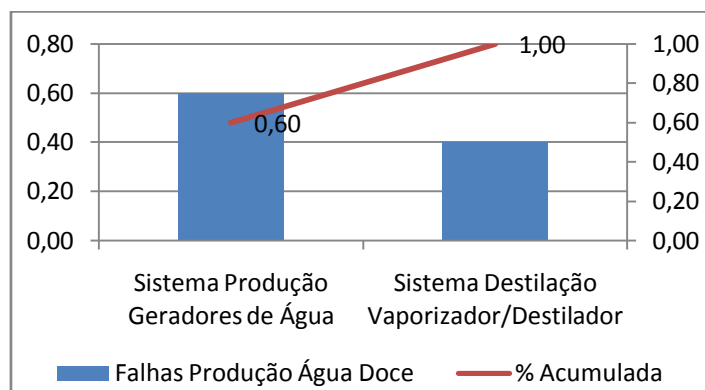


Figura 5. 23 - Diagrama de Pareto do Sistema de Produção de Água Doce da Fragata A

Neste caso só existem dois pelo que bastará actuar no primeiro, ou seja, nos Geradores de Água.

5.5.2- Fragata B

Nos equipamentos mais “fortemente” utilizados, esta Fragata volta a apresentar um maior número de falhas, como é possível visualizar na tabela seguinte:

Sistemas	Fragata B					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Arrefecimento das Câmaras	34	35040	1031	0,001	0,565	0,954
Produção Agua Doce	48	7768	162	0,0062	0,891	0,743
Água Potável	5	35040	7008	0,0001	1,067	0,993
Combustível	2	7768	3884	0,0003	-0,76	0,988
Lubrificantes	0	35040	0			1
Extinção de Incêndios	8	35040	4380	0,0002	0,154	0,989
Sistema de Gases	28	35040	1251	0,0008	-0,29	0,962
Água Salgada	0		0			1

Tabela 5. 11 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata B

Assim, é possível verificar que neste subsistema, os valores do teste Laplace não se encontram junto dos limites inferior e superior como nos restantes subsistemas.

Na figura seguinte é possível visualizar os valores de MTBF de cada equipamento:

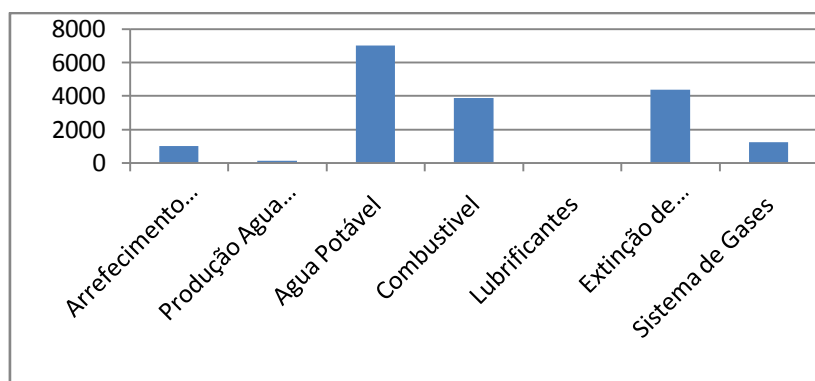


Figura 5.24 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata B

De destacar o valor preocupante do Sist. de Produção de Água Doce, onde será necessário actuar o mais rapidamente possível. A figura seguinte demonstra quais os componentes certos a actuar dentro deste equipamento.

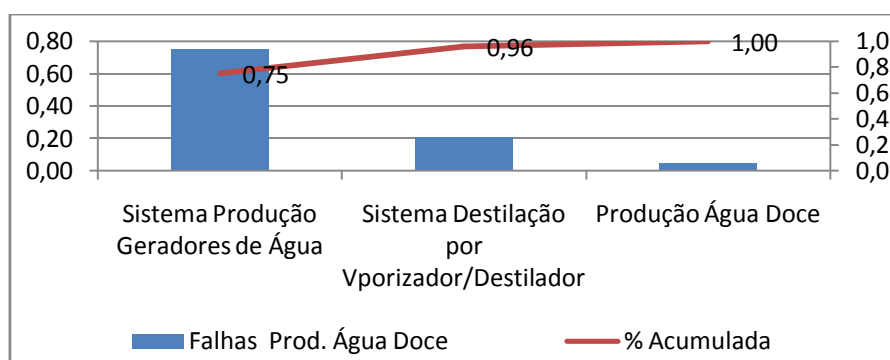


Figura 5.25 - Diagrama de Pareto do Sistema de Produção de Água Doce da Fragata B

Assim, tal como na Fragata A, os Geradores de Produção de Água estão a baixar os valores de MTBF deste equipamento.

5.5.3- Fragata C

Para finalizar o Grupo 5, falta a tabela respectiva à Fragata C, que se apresenta a seguir:

Sistemas	Fragata C					
	Xi	n	MTBF	Taxa de Falhas	Teste Laplace	Fiabilidade (2 Dias)
Arrefecimento das Câmaras	12	27792	2316	0,00043	1,556	0,979
Produção Água Doce	13	3882	298,615	0,00335	-1,170	0,852
Água Potável	2	27792	13896	0,00007	0,4	0,997
Combustível	4	3882	970,5	0,00103	0,136	0,952
Lubrificantes	0	27792	0			1
Extinção de Incêndios	4	27792	6948	0,00014	-0,829	0,993
Sistema de Gases	5	27792	5558,4	0,00018	-1,168	0,991
Água Salgada	1	27792	27792	0,00004	0,574	0,998

Tabela 5.12 - Valores de índices de Fiabilidade do Grupo 5 calculados para a Fragata C

Apesar de um MTBF elevado, o Arrefecimento das Câmaras está muito perto do limite máximo admissível para o teste Laplace, sinal de que, está com uma ROCOF crescente, o que é preocupante visto esta Fragata não ir para uma G.R nos próximos tempos.

Na figura seguinte é factível verificar os valores de MTBF de cada equipamento:

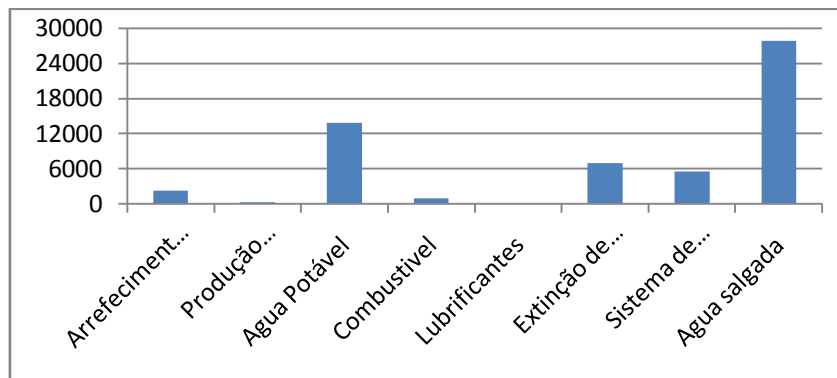


Figura 5. 26 - Valores de MTBF para cada equipamento do Grupo 5 da Fragata C

Mais uma vez é o Sistema de Produção de Água o equipamento com mais baixo valor de MTBF. Segue-se o sistema de Combustível, que embora um pouco mais elevado, é também preocupante.

Os componentes críticos do sistema de Produção de Água são os mesmos que os das fragatas anteriores. Na figura seguinte encontra-se o Sistema de Combustível.

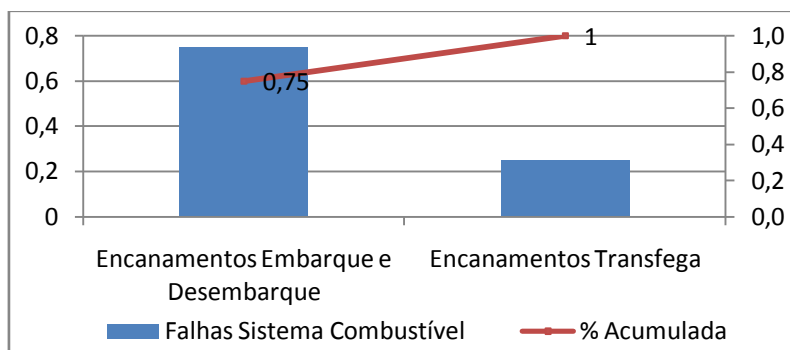


Figura 5. 27 - Diagrama de Pareto do Sistema de Combustível da Fragata C

Torna-se necessário actuar nos Encanamentos do Sist. de Embarque e Desembarque para que o MTBF deste equipamento melhore substancialmente.

5.6- Demonstração da Classe

Visto as Fragatas serem “fruto” do mesmo projecto, os equipamentos que as constituem são idênticos e intermutáveis. Assim sendo, foi decidido que reunir as falhas dos vários equipamentos, realizar um novo Diagrama de Pareto e visualizar quais os componentes críticos de todos os grupos.

Novamente o estudo resumiu-se apenas aos equipamentos que ao longo deste capítulo se destacaram por serem os mais críticos dentro dos respectivos Grupos. Os restantes Diagramas encontram-se em Anexo.

Para o Grupo 2, ao contrário do que seria de esperar, não foi o Sistema de Comando (componentes electrónicos) que teve um maior número de falhas (99 no total), mas sim o subsistema dos motores com 102 (problemas de manutenção preventiva). Depois de algumas comunicações mantidas no Alfeite, este é um facto estranho, pois sabendo a história do sistema de comando, e conhecendo que o mesmo se encontra praticamente obsoleto, e que já não existe material novo para substituir o que está em operação, seria de esperar que este fosse a causa de um maior número de falhas. Este facto só poderá ser explicado com a falta de um plano de manutenção preventiva para os componentes críticos, ou a falta de seguimento do plano que se encontra estabelecido. Uma eventual deficiência do material que é instalado nos componentes poderá também justificar este comportamento anómalo.

A figura seguinte reúne todas as falhas dos motores da Classe para uma avaliação mais concisa:

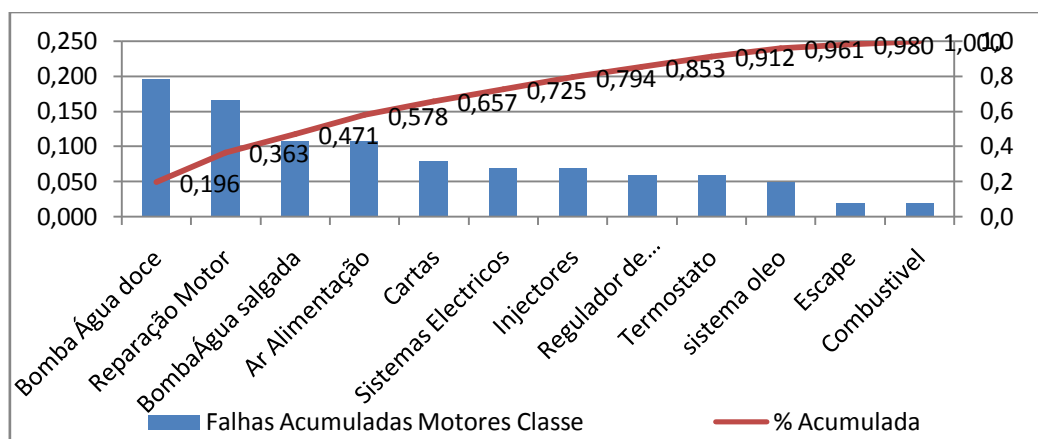


Figura 5. 28 - Diagrama de Pareto dos Motores da Classe Vasco da Gama

Embora as cartas, que estão incluídas nos motores, sejam componentes electrónicos, estas não são a maior causa de falha deste subsistema, mas sim a bomba de Água Doce, Salgada e reparações de motor, que por falta de dados, não é possível discriminar.

É possível concluir que, se se seguisse um novo estudo apenas a este subsistema, as bombas de água seriam as primeiras onde se deveria actuar, planeando um novo sistema de manutenção específico para estes componentes, ou a um nível superior, visionar a qualidade de certos produtos que vêm substituir os que estão em operação.

Como para cada Fragata o diagrama de Pareto do Grupo 3 já incluía todos os Geradores Electrogéneos, agora será apresentado o diagrama de Pareto que junta todas as falhas de todos os Geradores das 3 Fragatas, ou seja, 12 Geradores.

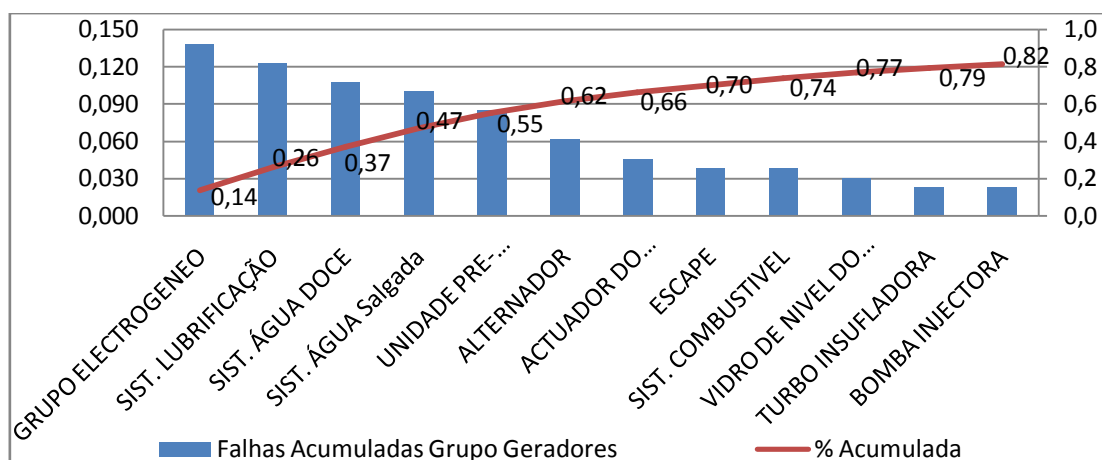


Figura 5. 29 - Diagrama de Pareto de todos os Geradores Electrogéneos da Classe Vasco da Gama

Este gráfico é muito longo, pelo que a sua visualização completa é possível em Anexos, no entanto estão representadas as causas de falhas principais. Como já era de prever, os motivos de falhas destes componentes são muito variados, pelo que a escolha dos componentes a serem primeiramente actuados não é fácil. Este é sem dúvida um grupo que necessita de um estudo mais aprofundado, algo que estava a acontecer aquando da realização deste trabalho.

Para o Grupo 4, não existe um equipamento crítico unânime em todas as fragatas, pelo que é mais difícil actuar de modo a conseguir melhores valores de MTBF e Fiabilidade. No entanto, todas elas têm valores baixos de MTBF no sist. de Navegação. A figura seguinte demonstra os equipamentos que teriam que sofrer Manutenções de modo a aumentar a Fiabilidade deste Grupo:

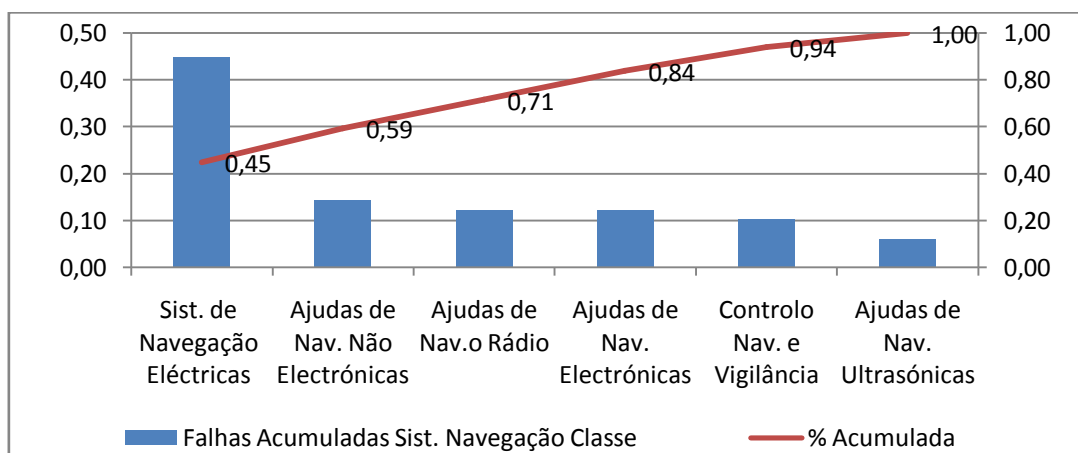


Figura 5. 30 - Diagrama de Pareto do Sistema de Navegação da Classe Vasco da Gama

Actuando no sistema de Navegação Eléctrico, é possível obter resultados claros no aumento do MTBF e consequentemente da Fiabilidade deste Grupo.

Para o Grupo 5, o sistema de Produção de Água Doce foi claramente o equipamento crítico. Pela figura seguinte tornar-se-á claro quais os componentes a corrigir:

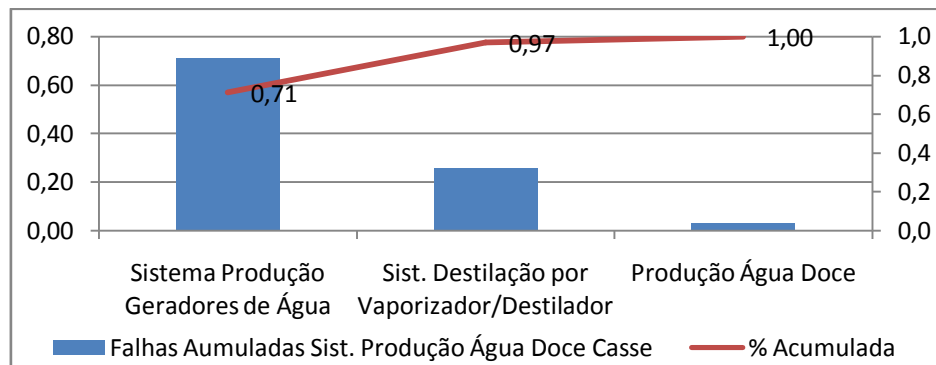


Figura 5. 31 - Diagrama de Pareto do Sistema de Produção de Água Doce da Classe Vasco da Gama

Como já seria de prever, os Geradores de Produção de Água necessitam de um tipo de Manutenção diferente do que vigora actualmente, de modo a elevar o seu MTBF e a Fiabilidade do Grupo 5.

5.7- FTA e Fiabilidade dos Subsistemas das Fragatas Classe Vasco da Gama

5.7.1 – Introdução

Em seguida serão demonstradas tabelas com os valores obtidos para a probabilidade do evento de topo das Árvores de Falhas que se encontram no anexo II.

Toda a metodologia para efectuar as Árvore de Falhas de modo a obter a respectiva probabilidade do evento de topo, já foi explicada no capítulo 2. Em seguida serão apenas demonstrados os quadros relativos aos valores obtidos.

Estas Árvores, à excepção do subsistema 2 e 3, são muito básicas, pois este trabalho não tinha como objectivo aprofundar em demasia os subsistemas, mas realizar uma análise mais geral a todos os subsistemas que compõem uma fragata.

5.7.2– Grupo 2

Devido à complexidade deste grupo, o estudo para a obtenção da probabilidade de topo torna-se mais difícil, pelo que são necessários cálculos precedentes.

Como já foi referido, este sistema tem dois veios e em cada um deles existe um motor e uma turbina. Admitindo que os dois têm de estar em operação, faz com que existam 4

possibilidades distintas de operação: motor / motor; turbina/ turbina; motor/ turbina; turbina/ motor. Estes são os 4 cortes mínimos que foi possível obter através desta metodologia. Os restantes equipamentos têm que obrigatoriamente estar em operação.

A imagem seguinte será um exemplo do um corte mínimo com os respectivos cálculos. Os restantes são homólogos, pelo que para não sobrecarregar este capítulo, será apenas fornecido os valores em tabelas.

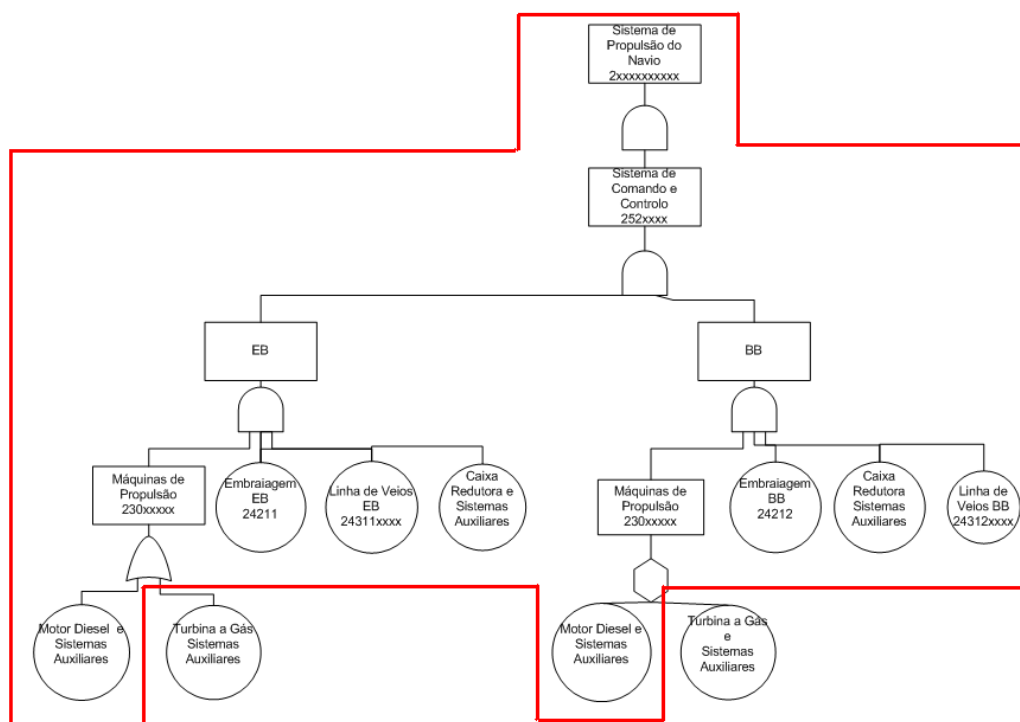


Figura 5. 32 – Exemplo do Corte Mínimo Motor/ Motor da Árvore de Falha do Grupo 2

Para o caso da Fragata A, e consultando os valores de Fiabilidade dos respectivos equipamentos na tabela 5.10 tem-se que a probabilidade do evento de topo acontecer, neste corte mínimo é:

$$P = \text{Fiabilidade}(\text{Sistema Comando}) \times \text{Fiabilidade}(\text{Motor E.B.} \times \text{Embraiagem} \times \text{Caixa Redutora} \times \text{Linha de Veios}) \\ \times \text{Fiabilidade}(\text{Motor B.B.} \times \text{Embraiagem} \times \text{Caixa Redutora} \times \text{Linha de Veios}) \\ \Leftrightarrow P = 0,979 \times (0,931 \times 0,981 \times 1 \times 1) \times (0,898 \times 1 \times 1 \times 0,991) = 0,80$$

Assim, os resultados para os respectivos cortes mínimos são:

	Corte Mínimo		
	Fragata A	Fragata B	Fragata C
Motor EB / Turbina BB	0,82	0,39	0,68
Motor BB / Turbina EB	0,72	0,4	0,81
Motor / Motor	0,8	0,44	0,71
Turbina / Turbina	0,74	0,35	0,78

Tabela 5. 13 – Valores relativos aos Cortes mínimos do Grupo 2 da Classe Vasco da Gama

Numa primeira visualização, é possível verificar que os valores da Fragata B são muito mais baixos que os das restantes fragatas. Era possível antever este facto pelo número de falhas verificadas.

Para a Fragata A, a Probabilidade do evento de topo considerando os 4 diferentes cortes Mínimos é:

$$P(\text{evento de Topo}) = 1 - ((1 - \text{Corte1}) \times (1 - \text{Corte2}) \times (1 - \text{Corte3}) \times (1 - \text{Corte4}))$$

$$\Leftrightarrow P = 1 - ((1 - 0,82) \times (1 - 0,72) \times (1 - 0,80) \times (1 - 0,74)) = 0,9972$$

Seguindo estes cálculos para as respectivas Fragatas, obtiveram-se os seguintes valores:

	P. Evento de Topo
Fragata A	0,997
Fragata B	0,867
Fragata C	0,996

Tabela 5. 14 – Valores da Probabilidade do Evento de Topo do Grupo 2 de Cada Fragata

Estes resultados demonstram que o sistema Fragata dificilmente ficará imobilizado devido a uma falha neste subsistema.

A fiabilidade a 2 dias (tempo que uma fragata dispõe para estar operacional depois de ser requerida para uma missão) calculada a partir da equação 2.9 do grupo 2 é para cada Fragata:

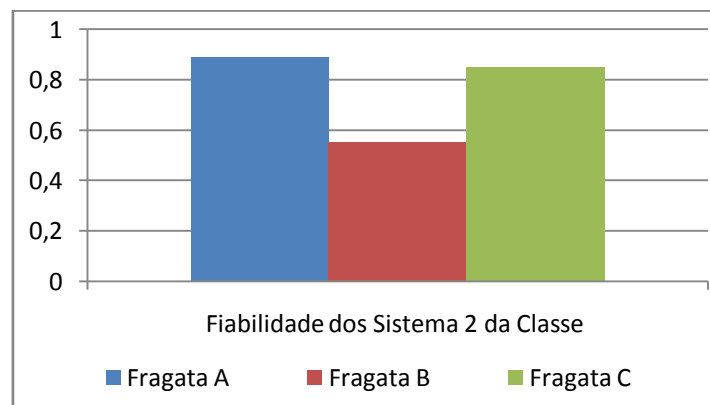


Figura 5.33 – Gráfico relativo à Fiabilidade a 2 Dias para cada Fragata da Classe Vasco da Gama

5.7.3– Grupo 3

Depois de algumas conversas mantidas na DN, foi referido que 2 dos 4 grupos geradores de energia teriam que estar operacionais para não afectar o sistema Fragata. Assim, segundo o método dos cortes mínimos da FTA, existem 6 possibilidades distintas. As tabelas seguintes contêm os valores encontrados para os valores de probabilidade dos cortes mínimos e do evento de topo.

	Corte Mínimo		
	Fragata A	Fragata B	Fragata C
Gerador 1 / 2	0,87	0,81	0,95
Gerador 1 / 3	0,95	0,86	0,97
Gerador 1 / 4	0,94	0,75	0,96
Gerador 2 / 3	0,89	0,86	0,97
Gerador 2 / 4	0,88	0,75	0,96
Gerador 3 / 4	0,96	0,79	0,98

Tabela 5. 15 - Valores de Probabilidade dos diferentes cortes Mínimos para cada Fragata

A probabilidade deste grupo estar constantemente operacional é muito elevada, como demonstra a tabela seguinte:

	P Evento de Topo
Fragata A	0,9999997
Fragata B	0,9999501
Fragata C	0,9999999

Tabela 5. 16 – Valores de Probabilidade do Evento de Topo do Grupo 3 de cada Fragata

Registam-se valores de fiabilidade para cada gerador, e para cada fragata entre 87% e 98%. Valores extremamente elevados, devido a um nº reduzido de falhas face às imensas horas de funcionamento que os mesmos realizam.

Visto os geradores possuírem a mesma construção e serem exactamente iguais, resolveu-se juntar-se as horas de operação e falhas de todos para mostrar a fiabilidade geral deste grupo de geradores, obtendo-se uma fiabilidade de 94%., valor médio dos valores anteriormente calculados.

5.7.4– Grupo 4

Com a enorme quantidade de falhas registada neste grupo, será normal que não sejam visíveis valores de fiabilidade ou de FTA tão elevados como anteriormente.

Como é de esperar, visto a FTA ser uma árvore extremamente simples, em que os todos os equipamentos são necessários para a operação deste grupo, os valores da Probabilidade do evento de topo vão coincidir com a Fiabilidade a 2 dias, pelo que a próxima figura resume os dois valores. Para redesenhar uma árvore onde pudesse existir redundâncias era necessário aprofundar este estudo, algo que não era de todo o objectivo deste trabalho.

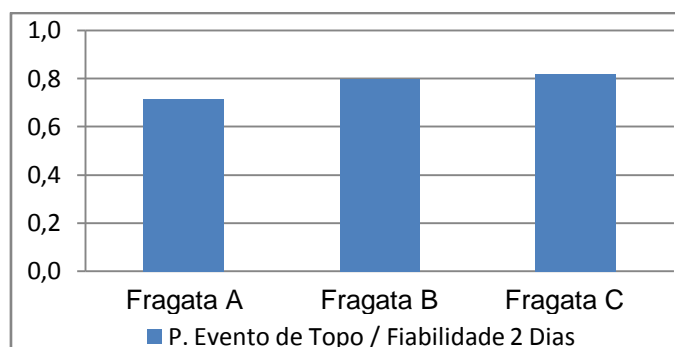


Figura 5. 34 - Fiabilidade a 2 Dias e respectiva Probabilidade do Eventos de Topo da Classe Vasco da Gama

Como é possível verificar, existe uma crescente subida de fiabilidade entre a Frigata A até chegar a Frigata C. Este comportamento repete-se em todos os subsistemas pertencentes a este grupo. No que toca a este grupo, é curioso verificar que a Frigata A tem uma fiabilidade muito baixa relativamente às suas homólogas. Não existe uma explicação quanto a este acontecimento, mas num futuro estudo mais aprofundado, seria interessante conhecer as causas deste acontecimento.

5.7.5– Grupo 5

No grupo 5 acontece exactamente o mesmo que no grupo anterior, ou seja, devido à simplicidade da FTA, a probabilidade do evento de topo coincide com a fiabilidade.

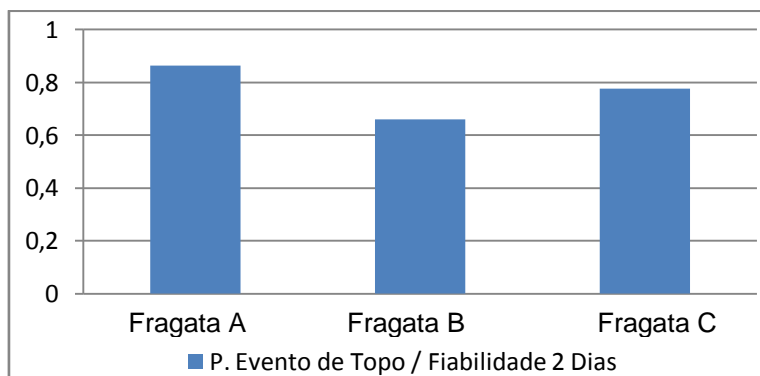


Figura 5. 35 - Fiabilidade a 2 Dias e Probabilidade do Evento de Topo da Classe Vasco da Gama

É possível visualizar o comportamento que se tem registado, com a Frigata B a registar o valor mais baixo, e com as restantes fragatas com valores mais elevados.

Dentro deste grupo, os componentes que fazem parte da Produção de Água Doce são uma preocupação. Merecem uma maior preocupação por parte dos responsáveis pela manutenção, pois registam valores de fiabilidade muito baixos comparativamente com os restantes equipamentos.

5.7.6– Fiabilidade Total das Fragatas

A figura seguinte demonstra quantitativamente a Fiabilidade dos 3 sistemas que constituem a classe Vasco da Gama.

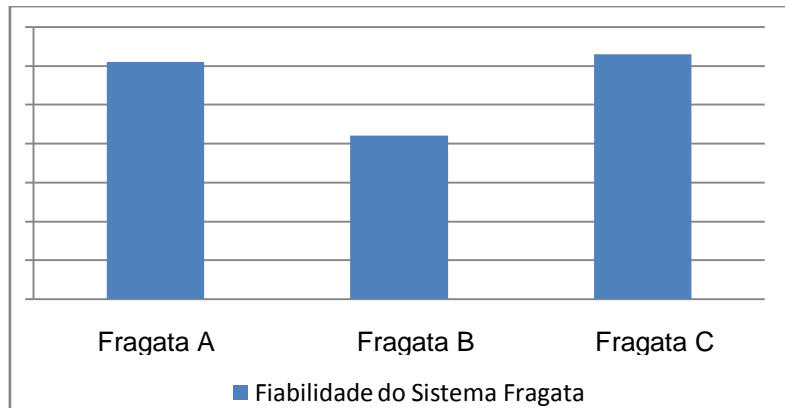


Figura 5. 36 - Fiabilidade dos Sistemas que compõem a Classe Vasco da Gama

É possível retirar a conclusão que a Frigata B é a que possui um menor valor de fiabilidade. As fragatas A e C, apesar de valores muito semelhantes, esta última regista um valor um pouco mais elevado.

Estes valores são explicados por todos os motivos já enunciados ao longo deste trabalho, as causas maiores sejam:

- Atraso na entrada da Frigata B na GR
- Fim de ciclo operativo e entrada da Frigata A na GR.
- Frigata C realizou uma GR a meio deste trabalho

Capítulo 6

Conclusões

Neste capítulo faz-se um resumo final desta dissertação, onde serão revistos os objectivos traçados inicialmente. Assim, será feito um resumo da avaliação dos valores, mais importantes, mostrados nos capítulos anteriores, e será apresentada a conclusão acerca de um outro objectivo requerido pelos próprios colaboradores da DN.

Esta análise será realizada primeiramente para cada Grupo, ou seja, como as fragatas possuem os mesmos equipamentos, em primeiro será passado em revista cada subsistema das Fragatas e seguidamente irá falar-se de cada Fragata em particular. Para finalizar esta parte, serão realizadas algumas análises interessantes do ponto de vista da Classe Vasco da Gama.

Depois de realizados os pontos anteriores, serão então relatadas as dificuldades sentidas aquando do Tratamento de Dados, e de seguida, serão sugeridas algumas melhorias.

Para finalizar este capítulo, serão sugeridas propostas para futuros trabalhos no âmbito deste tema da Manutenção e Fiabilidade na Marinha Portuguesa.

6.1- Conclusão de cada subsistema

O estudo da Taxa de Ocorrência de Falhas (ROCOF), permitiu avaliar o comportamento global dos subsistemas durante o tempo de estudo. O teste de Laplace permitiu identificar a presença de tendência na sequência cronológica das falhas e identificou a presença de Processos de Poisson. Em todos os subsistemas, foi identificado o Processo Poisson Homogéneo, ou seja, uma taxa de falhas constante, embora a Fragata B se tenha destacado por ter obtido valores muito próximo dos limites admitidos.

6.1.2- Grupo 2

Este é o grupo que, devido à prevalência de sistemas mecânicos, mais acções de Manutenção preventivas sofreu em relação aos restantes Grupos.

Não existe a menor dúvida que os dois equipamentos que se destacavam com menores valores de MTBF e consequentemente de Fiabilidade são os Motores Propulsores e as Turbinas de Gás.

De salientar que estes são equipamentos cujas acções de Manutenção, ou manutibilidade, são difíceis devido à complexidade dos equipamentos. Por esta razão a manutibilidade destes equipamentos assume um papel preponderante no desempenho futuro dos mesmos. Assim, uma má manutenção Preventiva, ou até mesmo Correctiva poderá levar a comportamentos anómalos durante um curto período de tempo, caracterizados por muitas acções de Manutenção a realizar. Foi relatado também que a qualidade dos componentes interfere bastante com o comportamento dos equipamentos. A título de exemplo, a má qualidade dos componentes novos inseridos numa correcção de uma Bomba de Água Doce na Fragata B provocou falhas em “escada”, ou seja, falhas sucessivas deste equipamento num curto espaço de tempo. Esta é uma das razões pelas quais os motores e turbinas, apesar de iguais em todas as fragatas, possuem comportamentos tão diferentes. Como as fragatas não realizam as manutenções ao mesmo tempo, poderão ser incorporados componentes de lotes distintos e consequentemente de qualidade diferente.

Conseguir obter um plano de Manutenção específico para cada equipamento seria o passo seguinte, de modo a elevar o valor de MTBF destes equipamentos.

Existe ainda um problema relacionado com os equipamentos electrónicos que gerem todo este grupo, pois conforme foi comunicado, encontram-se obsoletos. Esses equipamentos são as denominadas cartas das turbinas, motores, caixas redutoras e do sistema de controlo de passo do hélice, que têm como objectivo, transmitir informação ao programa NAUTOS, ou receber informação deste e transmiti-la aos respectivos equipamentos. O problema é que a mudança destas cartas implica mudar também o sistema NAUTOS que também já se encontra desactualizado. É uma operação muito dispendiosa, e esta é a razão porque estas cartas se mantêm em funcionamento, apesar de o fornecedor não possuir peças para estes componentes. Consequentemente, a única solução para quando estes falham é uma manutenção correctiva não especializada, o que origina alguns erros inerentes à não especialização de quem as opera. A acrescentar a todos estes problemas, já só existem poucos destes componentes, o que por vezes leva ao aproveitamento dos mesmos, que em condições “normais” nunca voltariam a operar, prejudicando o sistema geral. Inerente ao facto da falta de especialização por parte dos colaboradores, por vezes efectuem-se manutenções correctivas, que se julgam bem realizadas, e que mais tarde, depois de serem postas a operar, continuam danificadas, o que origina a uma nova falha.

Por fim, apenas comentar os valores obtidos através da metodologia da FTA para a probabilidade do evento de topo de cada fragata. Talvez não fosse esperado valores tão

elevados, no entanto, estes justificam-se com a redundância existente dos equipamentos. Apenas ter em conta que para este trabalho motor e turbina entraram na mesma igualdade, no entanto, na realidade, a turbina é um meio propulsor mais potente mas com um raio de acção menor, visto o combustível que gasta.

6.1.3- Grupo 3

Foi possível verificar que os grupos electrogéneos poderiam operar com poucas falhas em momentos de maior número de horas de funcionamento. No entanto, o reverso também era possível verificar-se. Existem várias causas para explicar estes comportamentos. Foi relatado a bordo que, mais uma vez, a qualidade dos componentes que são inseridos nas manutenções para substituir os antigos condicionam o comportamento dos geradores. O número de rotáveis é outra causa, pois por vezes o número dos mesmos é insuficiente face a procura. Assim, um rotável que esteja a sofrer uma acção de manutenção, poderá ser requisitado para operar, obrigando a uma reparação mais expedita. Isto fará com que, o Grupo Gerador registre uma falha mais cedo do que esperado, e assim se encontrem motivos para o comportamento dos gráficos pertencentes ao subcapítulo 4.2.2.

Os valores obtidos para o evento de topo da cada fragata são extremamente elevados. A causa de valores tão elevados é a junção de uma enorme redundância de equipamentos, com fiabilidade elevada dos mesmos.

Este grupo operou um total de 19955, 38977 e 72649 horas nas Fragatas Fragata A, Fragata B e Fragata C, e registaram-se respectivamente 0, 57 acções de Manutenção Preventiva, sendo um número muito reduzido para equipamentos com um valor tão elevado de horas de funcionamento. Comparando os grupos das 3 fragatas, verifica-se também que a que realizou mais horas de funcionamento não foi o que recebeu mais acções preventivas. Existiu assim um intervalo de 19955,683 e 1298 horas de funcionamento entre cada acção preventiva nas fragatas Fragata A, Fragata B e Fragata C respectivamente. Valores muito diferentes para equipamentos semelhantes.

6.1.4- Grupo 4

Este subsistema é um grupo inteiramente composto de equipamentos e componentes electrónicos, pelo que um plano de manutenção preventiva para estes equipamentos é de difícil concretização, pois os custos envolvidos são extremamente elevados.

Este é um dos grupos que se rege ainda pelo NAUTOS, sistema este que, pelo que foi relatado, se encontra obsoleto, e onde o próprio fabricante do equipamento já não possui peças para o mesmo, pelo que seria necessário proceder à modernização deste

equipamento. Foi relatado que está em estudo essa modernização mas como envolve um custo muito avultado, obrigará a decisões bem ponderadas.

Tanto neste grupo como no próximo, as acções de Manutenção Preventiva são diminutas face as horas de funcionamento dos equipamentos e o tempo decorrido. Serão verdadeiramente equipamentos cuja a sua manutenção poderá ser planeada de uma forma mais concreta, para uma obtenção de resultados mais eficaz.

6.1.5- Grupo 5

Neste grupo, seria necessário esclarecer quais os equipamentos verdadeiramente importantes e essenciais para uma fragata estar operacional, pois sistemas como a Produção de Água, ou as Câmaras Frigoríficas podem não ter o mesmo peso. No entanto, depois de alguns relatos na DN, foi possível admitir que todos tinham o mesmo grau de importância, pelo que a mesma ficará inoperacional depois de uma falha num destes equipamentos.

Assim, o subsistema mais problemático foi o subsistema de Produção de Água Doce, que registou um total de 66 falhas no decorrer de todo o estudo.

6.2- Conclusões das diferentes Fragatas

Sem dúvida que a qualidade dos componentes interfere bastante com o comportamento dos equipamentos, principalmente do Grupo 2 e 3, como já foi referido. Sendo a Marinha Portuguesa um organismo Público, tem que se reger segundo as regras da contratação pública. Como consequência, muitas vezes, mesmo sabendo-se que o melhor preço não corresponde à melhor proposta, é difícil fugir à proposta de menor custo e a Marinha tem que aceitar estes componentes. Contudo este facto é cada vez mais marginal graças á crescente sensibilização da cadeia logística para a necessidade de se adquirirem peças originais.

Depois de efectuada uma conclusão aos diferentes subsistemas, é obrigatório realizar também uma conclusão a cada fragata, pois isso irá justificando grande parte dos comportamentos dos subsistemas.

6.2.1- Fragata A

Esta fragata operou menos dias que as seguintes pois entrou numa G.R. há muito planeada. Assim, o estudo nesta fragata é de 01 de Janeiro de 2006, a 31 de Agosto de 2008, o que perfaz um total de 942 dias.

Durante este tempo, e graças à visualização dos gráficos de falhas acumuladas e horas de funcionamento em função do tempo, é possível dividir este tempo em dois intervalos distintos.

O primeiro coincide com o início do estudo, até meados do ano de 2007 (Maio). Neste tempo, a Fragata registou um maior número de horas de navegação, ou seja, 60% do total de horas de navegação. Consequentemente, todos os subsistemas realizaram um maior número de horas de funcionamento, o que justifica também um aumento das falhas.

No 2º intervalo, desde Maio de 2007 até 31 de Agosto de 2008, a fragata registou menos horas de navegação, logo os equipamentos também estiveram mais tempo parados. Assim, este intervalo de tempo contém um número menor de falhas, mas que não é proporcional ao menor número de horas de navegação. Este comportamento justifica-se com o final da curva da banheira, ou seja, pelas horas acumuladas de funcionamento dos equipamentos no final deste estudo.

No total, e excluindo as acções Preventivas requisitadas pela DN, que na sua maioria eram lista de tarefas para realizar na G.R., esta Fragata teve 9 acções de Manutenção Preventiva, divididas por 1 acção no Grupo 2, 0 no grupo 3, 5 no grupo 4 e 3 no grupo 5. No total, incluindo as acções requisitadas pela D.N. eram 568.

Devido ao elevado número de horas de navegação, de funcionamento dos equipamentos e de falhas registadas, rapidamente se conclui que a manutenção planeada é pouco eficaz. Será necessário criar um novo plano de Manutenção para que a Fragata tenha níveis de fiabilidade mais elevados. Além de novos planos, existem equipamentos que merecem uma atenção especial, e planos de manutenção especializados para os mesmos.

6.2.2- Fragata B

Esta foi a única fragata que, ao longo de todo o tempo de duração deste estudo, esteve sempre em período operacional, ou seja, nunca parou para realizar nenhuma acção de Manutenção Preventiva. Assim sendo, o tempo de estudo desta fragata decorre entre 1 de Janeiro de 2006 a 31 de Dezembro de 2009, perfazendo um total de 1460 dias.

Realçar o facto de os testes Laplace se situarem quase todos muito perto dos limites máximos estipulados, principalmente no limite superior, o que indica uma ligeira tendência para uma taxa de falhas crescente.

Após uma visualização mais atenta dos gráficos é possível distinguir 2 períodos diferentes: o 1º, caracterizado por um comportamento normal, decorre desde o início do estudo até fim de 2008 e o 2º, no ano de 2009, onde é notório um aumento do número

de falhas. A causa é fundamentalmente o incumprimento do Plano de Manutenção Planeada pois inicialmente, era estipulado que a Fragata B entrasse na G.R. em Agosto de 2009. No entanto, e pelo que foi comunicado na DN, tal não aconteceu por atraso na saída da Fragata A da mesma revisão. Como consequência, equipamentos que já levavam um elevado número de horas de funcionamento, e que necessitavam de uma revisão, não a puderam realizar. Assim, todos os equipamentos tiveram que realizar horas “extra” de funcionamento, o que levou naturalmente a que certos equipamentos não tivessem respondido bem a este facto, o que originou a um número crescente de falhas. A acrescentar a todos estes factores, esta fragata registou a partir de Agosto de 2009 um número muito elevado de horas de navegação, o que acabou por agravar mais a sua situação.

Durante o período de tempo correspondente ao 1º intervalo, a saída recente de uma GR antes do início deste estudo foi a causa para o seu comportamento “normal”.

Em todo o estudo registou 748 acções de Manutenção Preventiva, 403 que não foram requisitadas pela DN, 137 no grupo 2, 57 no grupo 3, 40 no grupo 4 e 76 no grupo 5. Por engano, vieram 59 acções Preventivas no grupo 6.

No entanto, esta fragata até 31 de Julho de 2008 registou 54 acções Preventivas no grupo 2, 34 no grupo 3, 16 no grupo 4, e 38 no grupo 5 o que perfaz um total de 142 acções num total de 207 acções de Manutenção Preventiva. Como é possível verificar, em 3 anos e meio de estudo, esta fragata registou à volta de 27% do total das acções preventivas. A lista de acções a realizar para a G.R fez aumentar o valor final, no entanto não é explicação para este número tão elevado. A única explicação plausível é a alteração da data da G.R, que obrigou a acções preventivas para que os equipamentos pudessem funcionar correctamente durante aquele tempo.

6.2.3- Fragata C

Este é um caso completamente diferente dos anteriores, pois é possível registar diferentes períodos em função do comportamento da taxa de falhas.

Esta Fragata, realizou uma GR 9 meses depois de início deste estudo. Esta é a causa de diferentes comportamentos ao longo do tempo, mediante se se analisa imediatamente antes ou depois da G.R.

A G.R. começou no dia 1 de Setembro de 2006 e terminou no dia 31 de Julho de 2007, perfazendo um total de 335 dias. O estudo durou 1158 dias, pois foi retirado o tempo em que esteve inoperacional, como se este não tivesse acontecido.

Para o período imediatamente antes da revisão, é possível verificar que alguns equipamentos do grupo 2, 3 e 5 e todo o grupo 4 apresentam algumas falhas, algumas delas com pouco dias de intervalo.

Para o 2º período, que corresponde imediatamente depois da G.R., praticamente não existem falhas registada sendo visível um intervalo aproximadamente de 200 dias sem qualquer ocorrência. No entanto alguns dos equipamentos analisados, principalmente do grupo 3, registam algumas falhas a meio deste intervalo. Quando se verifica as causas das mesmas, é possível concluir que se trata de avarias em equipamentos que estavam a ser testados em terra, ou em provas de mar, e por isso, muitas vezes são “*reworks*” da manutenção realizada na G.R.

O 3º período, acontece já depois de ultrapassado o intervalo enunciado anteriormente, ou seja, já a partir de 2008. Aqui as falhas já acontecem com a “naturalidade” esperada, e não existem casos concretos que despertem curiosidade.

Assim, os testes de Laplace demonstram resultados muito diferentes dependendo dos equipamentos em questão, pelo que nem todos se aproximaram dos limites, mas nem todos se situaram a meio do intervalo, demonstrando comportamentos muito característicos de cada equipamento.

Esta Fragata registou 359 acções de Manutenção Preventiva, mas apenas 147 não foram requisitadas pela DN, nas quais, 22 no grupo 2, 56 no grupo 3, 13 no grupo 4 e 45 no grupo 5.

6.2.4 – Comparações finais

Para finalizar este subcapítulo, é importante esclarecer os valores finais registados na figura 5.35.

Como já seria de esperar, nesta figura é possível verificar que a fiabilidade da Fragata B é mais baixa que a das restantes fragatas, e que apesar da diferença não ser tão grande como a anterior, a fiabilidade da Fragata C é maior que a da Fragata A.

Como referido anteriormente, aquando do início deste estudo, as fragatas encontravam-se em momentos do planeamento da manutenção preventiva muito distintos. Este planeamento encontra-se no Anexo I. Esta é a causa principal para a explicação dos resultados obtidos.

A Fragata C esteve 12 meses numa G.R. durante o tempo de estudo, o que acaba influenciando positivamente o seu comportamento e consequentemente todos os índices de fiabilidade.

A Fragata A realizou o estudo até 2008, momento que também entrou numa G.R. Apesar de se encontrar num fim de ciclo que iria culminar na sua inoperacionalidade, esta fragata cumpriu o plano estabelecido da manutenção planeada, razão pela qual os valores de fiabilidade são mais baixos que os da Fragata C, mas não baixos o suficiente para pôr em causa a sua operacionalidade caso assim o fosse exigido.

Por fim analisemos a Fragata B, que obteve um valor de fiabilidade muito baixo. A causa fundamental foi o seu prolongamento de tempo de operação, como já foi explicado. O facto de ter navegado cerca de 3000 horas no último meio ano de estudo não ajudou a minimizar os efeitos anteriores. Assim, seria de esperar os baixos valores de fiabilidade geral da fragata. Nem o facto da fragata ter saído de uma G.R. pouco antes do início do estudo conseguiu minimizar os efeitos deste atraso. Esta análise seria diferente se a fragata efectuasse a G.R. no tempo devido.

6.3- Propostas para futuros trabalhos

Em seguimento do trabalho já realizado, sugere-se a continuidade do mesmo, através de um maior aprofundamento, ou até este mesmo estudo num outro meio naval distinto.

Assim, sugere-se que depois de identificados os grupos mais críticos, aprofundar este estudo de modo a conseguir saber qual ou quais os componentes mais críticos. Findo isto, seria necessário estabelecer um novo programa de manutenção, de modo a conseguir níveis de fiabilidade e disponibilidade maiores do que os registados. Por fim, seria benéfico acompanhar os componentes e o seu histórico, de modo a conseguir entender se essas melhorias trouxeram resultados positivos.

A dificuldade estará nos custos que esta mudança traria imputada à mesma. Para se realizar um estudo deste tipo seriam precisos imensos pedidos e autorizações, o que aumenta imenso o tempo de estudo, pelo que, uma análise mais aprofundada, e uma proposta de melhoria ao planeamento da manutenção preventiva seriam os pontos exequíveis.

Num âmbito diferente a este trabalho, mas tão ou mais importante como um trabalho deste tipo, seria agradável melhorar toda a comunicação que existe dentro da Marinha para com a DN, ou seja, toda a comunicação desde o marinheiro responsável pela execução de um pequeno trabalho a bordo, até ao tratamento desse dado na DN. Seria necessário mais tempo para a execução deste trabalho, mas depois de melhorada toda a comunicação em todo o S.G.M, seria possível realizar trabalhos deste tipo em metade do tempo, ou até criar um sistema informático que o fizesse. Seria necessário

primeiramente identificar todos os problemas já existentes, como já foram relatados alguns neste trabalho, e propor uma solução para os eliminar. Findo isto, era necessário garantir que essas soluções eram fiáveis.

Capítulo 7

SICALN

7.1- Problemas da Extracção dos dados

7.1.1-Introdução

No início deste estudo, em sequência às várias visitas realizadas à DN, com o objectivo de retirar muitas dúvidas que surgiam aquando do tratamento de dados, foi pedido que se acrescentasse mais um objectivo a este tese: relatar as dificuldades do tratamento de dados, e realizar uma avaliação do SICALN enquanto base de dados. Foi também pedido que se diferencia-se erros surgidos por culpa humana, e erros devido às várias imposições do Programa.

Relatam-se os problemas devido a incorrectos preenchimentos por acção humana e seguidamente por falha do programa. Seguidamente serão sugeridas propostas para melhorar este programa e a sua utilização, de modo a que num futuro próximo esses erros não sejam cometidos. Poderão criar-se assim as bases para estudos às fragatas ou outros meios navais pertencentes à frota da Marinha mais reais e fidedignos. Desta maneira poderão criar-se propostas de Manutenção mais acertadas, e assim criar-se um ciclo vicioso benéfico para o ciclo de vida de todos os equipamentos.

7.1.2- Mau Preenchimento

Poderá afirmar-se que a maioria das dificuldades sentidas neste trabalho proveio do incorrecto ou incompleto preenchimento de todos os campos pertencentes ao SICALN, antigos requisitos DSM 58,59 e 60.

Como já foi relatado anteriormente, por falta de preenchimento dos respectivos campos, não foi possível conseguir obter alguns índices, como o MTTR e a Disponibilidade. Assim, a falta destes dados prejudicou em parte este trabalho, e prejudicou alguns dos objectivos traçados inicialmente. Em seguida serão enumerados esses erros que são ainda hoje cometidos:

Num universo de 8317 relatos de falhas recebidos:

- 6422 Não tinham preenchido o campo de data de início de execução do trabalho, ou seja, 77% do total;

- 6534 não tinham preenchido o campo de fim de execução do trabalho, ou seja, 79% do total;

No entanto, poderia ainda assim ser possível tentar descobrir o MTTR da falha, através do campo “ Homens-Hora”, no entanto

- 7157 relatos não tinham este campo preenchido, ou seja, mais de 86% do universo total;

Para a tentativa de diferenciação entre avaria e falha, era necessário saber se o sistema fragata ficou inoperacional ou limitado, no entanto:

- 7414 relatos não tinham este campo preenchido, ou seja, mais de 89%;

No entanto campos que do ponto de vista da Fiabilidade não acrescentam informação relevante, como o local geográfico onde foi detectada a falha, ou onde foi executada, tinham uma taxa de preenchimento de 99,6% e 98% respectivamente.

Estes foram os campos que fizeram com que, certos indicadores da Fiabilidade não pudessem ser calculados.

Seguidamente, serão relatados problemas sentidos para diferenciar Manutenções Correctivas de Manutenções Preventivas, pois ao fim de gráficos de falhas acumuladas em função do tempo muito estranhos e de algumas visitas e conversas mantidas na DN, foi possível detectar um grande número de falhas correctivas de diferentes grupos que não o eram. Assim:

- No Grupo 2, Fragata C, de 112 acções de Manutenção Correctiva que sugeriam os dados, finalizou-se o tratamento com 47 acções de Manutenção. A Fragata B registava inicialmente 466 acções correctivas durante o estudo, e no final verificou-se que eram apenas 203. Por fim a Fragata A registava inicialmente 123 acções Correctivas, acabaria por ficar apenas com 34 acções.

Com os restantes grupos repete-se estes acontecimentos mais vezes, salientando-se o facto destes erros serem mais notórios em equipamentos que sofrem bastantes acções de Manutenção Preventiva como os Motores a Diesel ou as Turbinas.

As razões destes acontecimentos têm alguns motivos conhecidos:

- Erro humano no preenchimento do tipo de manutenção a executar, pois as acções Correctivas terminam no algarismo 3 e por alguma razão colocam este algarismo sem ser uma correctiva;

- O SICALN obriga a que, para repor um sobresselente ao seu estado normal de operacionalidade, sejam criados dois relatos, um no navio aquando da falha, um outro posterior para tornar operacional o rotável, assunto que será abordado posteriormente;
- Simples desconhecimento das instruções de preenchimento;
- Mudança de componentes em que é visível a sua degradação, mas que são substituídos ainda antes de existir falha, Manutenção Preventiva Condicionada, mas que aparece várias vezes como Correctiva. Ex.: Filtros das Turbinas;

No entanto, estas não são as razões totais para estas anomalias. Algumas são ainda desconhecidas, mas foi na análise do Grupo 4, nos equipamentos do Sistema de Comunicações Externas da Fragata A que se encontrou mais um motivo para tantas falhas Correctivas. Aquando do Tratamento de dados deste equipamento, foi possível verificar que o mesmo registava mais de 120 falhas em dois dias consecutivos. Depois de comunicado este relato na DN, foi informado que, antes de qualquer revisão, a mesma emite uma lista de trabalhos a efectuar. Acontece que esta Fragata ia entrar numa G.R., pelo que apareceu a lista total de trabalhos a efectuar naqueles equipamentos, mas como correctivas:

- Aquando do lançamento destas listas pela DN, dependendo de quem as está a introduzir no SICALN, muitas vezes são introduzidas como Preventivas ou Correctivas, não seguindo nenhuma ordem ou regra. Assim, apareceram posteriormente muitas falhas, inclusive em muitos outros grupos e fragatas, que eram pedidos da DN e que por isso não eram manutenções Correctivas. Foi necessário realizar mais um filtro e com ele detectaram-se mais erros associados, pois estar-se-á a aceitar ou a rejeitar falhas preventivas ou correctivas respectivamente;

A este problema, acresce mais outro:

Existem falhas detectadas pela fragata que são introduzidas no SICALN. A DN verifica que a fragata irá parar em breve para uma revisão, pelo que nega a acção correctiva, e emita uma ordem para que essa acção seja corrigida na revisão. No SICALN esse requisito inicial feito pela fragata nunca irá ser fechado (não aparecerá nos dados recebidos), pois entretanto a DN já elaborou a lista de Manutenções Preventivas a realizar nesse equipamento, onde se inclui o componente onde se registou a falha. O problema é que o cruzamento de informação muitas vezes não existe, e aquele trabalho

da lista entra como preventivo, quando na verdade era correctivo. Assim perde-se mais um relato de falha o que muda a análise estatística da Fiabilidade.

Outros problemas que dificultaram em muito o tratamento de dados, e alteraram os resultados obtidos seguem-se na lista seguinte:

- Mau preenchimento do número funcional – por vezes este não desce o suficiente para que seja possível conhecer quais os equipamentos que sofreram as acções correctivas. Ex. Grupos Electrogéneos do Grupo 3, muitas vezes o número funcional fica-se pelo 4º algarismo, que indica uma falha neste grupo, mas não especifica qual deles é. Existe aqui a um novo problema;
- Mau preenchimento ou ausência total do preenchimento da descrição da falha/avaria – mesmo que o número funcional não indicasse os equipamentos em falha, se a descrição da falha fosse correctamente preenchida, então era possível saber quais os equipamentos ou componentes em falha. Por vezes só assim existiu a capacidade de identificar o equipamento desta maneira, no entanto muitos dados se perderam pela falta de reconhecimento dos equipamentos ou componentes em falha.

Outro problema a acrescentar nesta lista, encontra-se com o campo relativo ao código quando descoberto. Assim, aqui destacam-se dois diferentes problemas:

- Neste campo é possível colocar o número 9 ou 0 que indica “desconhecido” ou “indeterminado” respectivamente. Coincidente, num relato, com a falta de especificação do número funcional, também neste campo a informação era muitas vezes 0 ou 9. Assim, faz com que este tipo de falhas sejam difíceis de analisar, e seja preciso recorrer aos restantes campos para confirmar dados, perdendo-se assim um campo de informação;
- É também possível colocar o número 3 que indica “durante uma Manutenção”, o que leva à dúvida se se tratava de uma Manutenção Preventiva Condicionada, pois os componentes estavam prestes a pôr em causa o funcionamento do equipamento, ou se já estavam danificados o suficiente para terem provocado alguma falha sendo por isso uma acção correctiva;

Mais problema que acontece várias vezes, quando se querem retirar mais algumas informações sobre a falha, está nos campos de “código de avaria” e “código de causa de avaria”. Aqui, mais uma vez, é possível introduzir o número 9 ou 0 que indicam o mesmo que os de cima indicados. Apesar de aqui já ser possível perceber a razão destes números, acontece que existe um provável uso excessivo destes algarismos, pois num

universo de 3798 acções de Manutenção correctiva, 2044 apresentam em simultâneo nestes dois campos razões desconhecidas ou indetermináveis, ou seja, perto de 54% das falhas não é possível obter nenhuma informação em concreto das razões que levaram às mesmas. De salientar que, este uso abusivo destes algarismos poderão ser provocados pela má experiência do colaborador como por simples desconhecimento do sistema, assunto que será abordado posteriormente.

Mais um mau preenchimento acontece muitas vezes no campo de “processo técnico de abertura”:

- Por vezes acontece este campo dê a informação de que a fragata se encontrava em período operacional ou em período inoperacional, no entanto, confrontando o planeamento da fragata, foi possível identificar muitas informação erradas;

Neste caso, o mais certo é a distração de quem está a relatar, ou então o desconhecimento do Planeamento das fragatas. De salientar que este é um dos problemas que menor consequências teve os resultados finais.

Mais um erro detectado, alheio a quem preenche, foi:

- Todas as vezes que são requisitados testes para os equipamentos, ex: veio de Manivelas, ou até mesmo ao combustível, é dado como uma manutenção correctiva;

Em equipamentos idênticos, como Motores a Diesel, Turbinas a Gás ou os Grupos Electrogéneos, por vezes verifica-se, através dos vários gráficos de falhas acumuladas em função do tempo de cada equipamento, falhas no mesmo dia. Isto acontece porque:

- Por vezes um equipamento tem uma falha que requer a intervenção de uma equipa de terra. Para rentabilizar a deslocação da equipa aproveita-se para, além de realizar a acção necessária nesse equipamento, intervencionar também os restantes idênticos. No entanto, enquanto que no primeiro equipamento a mesma é Correctiva, nos restantes equipamentos é apenas Preventiva. Tal não acontece e aparecem todas como Correctivas, não existindo maneira de distinguir qual o equipamento ou componente que realmente sofreu a acção Correctiva, tendo que se assumir todas as acções como Correctivas, ou eliminá-las a todas.

Para finalizar este subcapítulo, é importante enunciar que para os dados recebidos, foi necessário aplicar vários filtros de modo a realizar um bom tratamento de dados. Em seguida estará uma lista das acções que foram necessárias realizar:

- Escolher apenas as acções Correctivas;

- Eliminar as recuperações que eram realizadas em estaleiros aos rotáveis e recuperáveis;
- Eliminar as acções que eram listas de manutenções emitidas pela DN;
- Ao fim de realizar o filtro para o número funcional correcto do equipamento/componentes, subir um ou dois níveis para “apanhar” mais alguma falha que estivesse fora do seu lugar;
- Verificar se tinham sido descobertas e realizadas em períodos de operação das fragatas, ou se pelo contrário se encontravam em períodos de revisões;
- Por fim foram necessárias várias conversas com os colaboradores da DN para verificação de muitos relatos;

7.1.3- Correctamente Preenchido

De seguida, serão enumerados alguns erros ou apenas critérios exigidos pelo programa SICALN ou até mesmo pela DN, que dificultam um bom Tratamento de Dados:

- A já enunciada necessidade de serem criados dois relatos para a falha de um rotável ou recuperável. Assim, quando uma fragata relata a falha de um reparável, caso seja aprovada e passe a definitivo essa acção, esse componente segue para os estaleiros. No entanto, é necessário um novo relato para que o colaborador responsável pela manutenção a possa pôr de novo operacional. São assim criados dois relatos para uma falha, o que aumenta o número de acções de Manutenção Correctiva, e altera os valores finais de Fiabilidade das Fragatas, pois o equipamento teve apenas uma falha e não duas como registado;
- O facto de o programa não deixar acrescentar material depois de realizado um primeiro relato, leva a que os colaboradores sejam obrigados a relatar uma nova falha daquele equipamento, para que possam receber os componentes de que necessitam. Assim, antes da execução de uma acção, o programa exige já se saiba quais os componentes de que necessitam, ainda antes de verificarem o que está danificado. Mais uma vez, isto leva a falhas “fantasma” que distorcem os resultados finais. Ex. Motor de E.B da Fragata B, que possui cerca de 5 relatos para uma falha do motor, pois era sempre necessário acrescentar material;
- Necessidade da criação de relatos “fantasma” para a aquisição de consumíveis, como aconteceu na Fragata B nas Caixas Redutoras. Esses relatos vão novamente distorcer os resultados finais caso os mesmos não fossem descobertos;

Estes acontecimentos tiveram um registo inferior aos registos por erro humano. No entanto, caso não fossem detectados, afectariam os resultados finais.

Por fim, apenas registar mais uma dificuldade sentida, que foi a dificuldade da obtenção dos dados durante o ano de 2006. Este é um ano de mudança, deixando a DN de receber os requisitos em papel, sendo tudo registado apenas no SICALN, o que faz com que, para a obtenção destes dados fosse necessário a ida a bordo das fragatas. No entanto até estas tiveram dificuldade para a obtenção destes dados, o que significa que esta passagem de papel para uma base informática não correu tão bem como o esperado e por isso se perderam alguns dados. Em futuras mudanças, deverá existir um cuidado redobrado de modo a não se perderem informações importantes para um trabalho deste tipo.

7.2- Propostas de Melhoria no Sistema de Recolha de Dados

Não existe um conhecimento profundo da estrutura da Marinha Portuguesa, pelo que as sugestões que serão dadas a seguir poderão ajustar-se ou não à mesma. No entanto salientar que, são propostas exequíveis, e que depois de aplicadas, poderiam obter o objectivo desejado: uma base de dados mais credível e fiável.

De salientar também que, visto ser difícil mudar os comportamentos humanos que levam às falhas do sistema, a maioria das sugestões incide no SICALN, e em este deixar ou não certos processos, e modificar outros em vigor.

Inicialmente, a proposta que mais impacto poderia causar no melhoramento substancialmente de todo este processo, consiste na formação dos colaboradores que trabalham directamente com a Manutenção. Se existissem formações sobre o SICALN, quais as opções de preenchimento, e acima de tudo, a importância do preenchimento, então talvez fosse possível melhorias significativas, evitando uma grande número de erros. Seria um grande avanço para o aperfeiçoamento do SRTD.

Para evitar a falta de dados que consequentemente levou ao não conhecimento de certos índices importantes de Fiabilidade neste trabalho, sugere-se que o SICALN impeça qualquer abertura de outro relato de detecção de falha de um equipamento que ainda possua um relato em aberto, e que o mesmo só possa ser encerrado caso todos os campos estejam preenchidos. Para isso, existem outros problemas que teriam que ser resolvidos previamente, como o caso do SICALN exigir que para a abertura de um relato, se saiba previamente quais os componentes que irão ser necessários. Assim, terão que se efectuar mudanças no SICALN de modo a que seja possível a requisição de componentes enquanto a acção de Manutenção estiver a ser realizada, de modo a evitar vários relatos para uma falha só. Desta maneira já é possível pôr em prática a sugestão inicial, e assim, a única maneira de proceder a um novo relato de falha de um

equipamento, é este não possuir nenhum relato em aberto, o que significará todos os campos devidamente preenchidos.

Para o caso dos sobresselentes, era bom que se procedesse a uma alteração no SICALN, onde um relato fosse suficiente para proceder à mudança do sobresselente a bordo, e a sua reparação no estaleiro em terra. Mais uma vez, era necessário que o SICALN permitisse requisitar componentes enquanto a acção de Manutenção está em aberto, o que não acontece actualmente.

Quanto ao “código de quando descoberto”, não é fácil introduzir restrições quanto aos Algarismos 0 e 9, no entanto, e para resolver-se a situação do algarismo 3 que indica durante a manutenção, era necessário que no campo da descrição se introduzisse o estado do componente substituído para fazer a distinção entre Manutenção Preventiva ou Correctiva. A formação dos colaboradores também poderia resolver este problema.

Esta formação também serviria como solução para o problema em que vários equipamentos semelhantes sofrem o mesmo tipo de manutenção para rentabilizar os meios humanos, técnicos e financeiros, na medida que, apenas o colaborador que introduz os dados poderá fazer a distinção entre os equipamentos que sofreram a acção de Manutenção Correctiva e Preventiva.

Para as listas de manutenções Preventivas produzidas pela DN para as revisões, estas deveriam ser sempre Preventivas, e o SICALN não deixar introduzir nenhuma do tipo Correctivo. Com a impossibilidade de criar dois relatos para o mesmo equipamento (sugestão dada anteriormente), caso a Fragata já tivesse relatado uma falha, e a DN tivesse mandado esperar para realizar a acção correctiva na revisão, então ao introduzir a lista, e ao chegar ao respectivo equipamento, o SICALN não deixaria introduzir porque estava uma acção em aberto. O colaborador que introduzia toda a lista teria que verificar qual a acção em aberto, e enviar a mesma (com código correctivo) com a lista de Manutenções a realizar. Assim estaria a impedir-se a alteração de manutenções preventivas que eram correctivas ou vice-versa. Desta maneira também se estaria a impedir que ficassem acções em aberto durante um longo período de tempo como foi relatado que acontece actualmente.

Para o número funcional, a sugestão seria que o SICALN não deixasse introduzir um número que incida num equipamento genérico, e não especifique qual é em concreto, como por exemplo no caso dos geradores electrogéneos. O SICALN não deixaria introduzir o número “3112” que significa grupo geradores electrogéneos, mas obrigar o colaborador que está a preencher o relato a introduzir o número seguinte que identifica qual o equipamento em concreto. Quanto ao relato, e até mesmo este problema do

número funcional, uma formação geral a todos os colaboradores era mais uma vez a verdadeira solução.

Quanto aos testes requeridos pela DN ou até mesmo pela própria Fragata, era bom que se obtivesse um código próprio de modo a não ser confundido com Manutenção Correctiva.

Já foi relatado os campos a preencher para a obtenção dos índices de Fiabilidade mais importante. Sem dúvida que um deles é o MTTR, índice que não foi possível conhecer neste trabalho por falta do preenchimento dos campos por parte dos colaboradores da Marinha. No entanto existe um campo que caso fosse preenchido, daria quase que automaticamente o MTTR da operação, campo esse que é o “homens-hora”. Já foi dado uma solução para este caso, no entanto essa não é a única. A outra passaria por conhecer as horas necessárias à realização de cada operação de manutenção possível de realizar a cada equipamento. Seguidamente, introduz-se esses valores na base de dados, e quando o colaborador fosse para registar o que tinha realizado, o SICALN reconheceria a acção e o próprio sistema calcularia o tempo que foi necessário para aquela acção de Manutenção. Esta é uma ideia que daria sem dúvida muito mais trabalho para ser concretizada, no entanto permite até obter dados da produtividade de quem efectua aqueles trabalhos, ou obriga os mesmos a elevar a sua produtividade, pois os tempos marcados para aquela acção já estão previamente marcados. Esta é uma ideia que já é utilizada em várias áreas de negócios, inclusive no ramo automóvel, mais especificamente nas oficinas de reparação, onde qualquer acção de manutenção já tem um tempo definido.

Uma sugestão para que não haja erros no campo do “processo técnico de abertura”, ou seja, não exista a informação de que a fragata está operacional, e está numa revisão, ou vice-versa, era necessário que o SICALN reconhece-se o programa de Planeamento de Manutenção Preventiva das Fragatas. Desta forma, quando o colaborador, num momento de uma grande revisão por exemplo, tentasse introduzir os dados como momento operacional, o SICALN reconhecia o erro e não deixava o mesmo continuar e gravar o relato. Poderia também o SICALN, reconhecendo o Planeamento Preventivo, preencher ele próprio este campo.

Para a requisição de consumíveis, a solução passaria por arranjar forma de obter um outro campo no SICALN, que não um relato de uma falha, para que a aquisição destes produtos fosse possível, sem comprometer os relatos das falhas das Fragatas.

Em forma de conclusão, são duas as medidas onde de imediato se deve actuar para melhorar a base de dados. A primeira é encontrar a forma ideal de conseguir dar

formação a todos os colaboradores que contactam directamente com a Manutenção, de modo a evitar erros grosseiros e que impossibilitam ou dificultam estudos como o deste trabalho. A segunda, é aperfeiçoar a base de dados existente, e torna-la mais “inteligente” de modo a impedir erros humanos. A primeira é de mais fácil execução, e poderá ter resultados mais directos, no entanto, a segunda poderá fazer com que, mesmo com pouco formação por parte dos colaboradores, se consiga uma base de dados fidedigna e que retrata verdadeiramente a realidade.

Capítulo 8

Referências Bibliográficas

Ascher, Harold e Feingold, Harry (1984), *Repairable Systems Reliability – Modeling, Inference, Misconceptions and Their Causes*, Lecture Notes in Statistics, Dekker, New York.

Ansell, J.I. e **Philips**, M.J. (1989), «*Practical Problems in the Statistical Analysis of Reliability Data*», University of Hull* e University of Leicester, Royal Statistical Society.

Assis, Rui (1997), *Manutenção Centrada na Fiabilidade – Economia das Decisões*, LIDEL – Edições Técnicas, Portugal.

Barlow, R., (1998), *Engineering Reliability*, ASA-SIAM, 1ª Edição ISBN 0-89871-426-5.

Cabral, José Saraiva (1998), *Organização e Gestão da Manutenção*, 2ª Edição, LIDEL – Edições Técnicas, Portugal.

Canuto, R.M.F. (2002), *Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM II), Aplicação numa Indústria de Celulose em Portugal*, Tese de mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências dos Materiais/Secção de Materiais Electroactivos.

Cuignet, Renaud (2006), *Gestão da Manutenção*, 2ª Edição, LIDEL- Edições Técnicas, ISBN 978-972-757-397-4.

Dias, José António Mendonça (2002), *Dissertação de doutoramento – Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*, FCT-UNL, Lisboa, Portugal.

Dias, J.A. Mendonça, **Pereira**, Z. Lopes e **Leitão**, A.L. Ferreira, «*A Gestão da Manutenção Industrial pela Fiabilidade*», FCT e FEUP.

Dias, J. A., **Pereira**, Z. L., & **Leitão**, A. L. (2005). *Fiabilidade e Gestão da Manutenção de Sistemas Reparáveis. em Análise e Gestão de Riscos, Segurança e Fiabilidade*, Lisboa,

Ferrão, F. M., & **Dias**, J. M. (2009), *Gestão da Manutenção em Viaturas de Transporte Urbano de Passageiros*, 10º Congresso Nacional de Manutenção, Figueira da Foz.

- Ferreira, L.A.** (1998), *Uma Introdução à Manutenção*, 1ª Edição, Publindústria – Edições Técnicas, Porto, ISBN 972-95794-4-X.
- Filho, Salvador S** (2006), “Análise de Árvore de Falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos”, Tese apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Gonçalves, C. D.** (2005), *Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.
- Lampreia, Susana G.F.S** (2005), Tese de Doutoramento, *Fiabilidade e Manutibilidade de Sistemas Marítimos de Pequena e Média Dimensão*, FCT-UNL.
- Lewis, E. E.** (1987), *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, New York, ISBN 0-471-85497-2.
- Lewis, E. E., Anderson, R.,**(1990), *Reliability- Centered Maintenance: Manangement and Engineering Methods*, London & New York: Elsevier Applied Science.
- Lloyd, David K. e Lipow, Myron** (1977), *Reliability: Management, Methods and Mathematics*, 2ª Edição, ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
- Locks, Mittchell O.** (1995), *Reliability, Maintainability and Availability Assessment*, Second Edition, ASQC Quality Press, Milwaukee, EUA.
- Marinha** (1998), *ILDINAV 802 - Manual do Sistema da Manutenção e do Sub-Sistema de Manutenção Planeada*, Superintendência dos Serviços do Material, Direcção de Navios:, Alfeite, (Consulta possível na Biblioteca da DN no Alfeite).
- Marinha** (1984), *ILMAT 512- Manual do Sistema de Recolha e Tratamento de Dados*, Direcção do Serviço de Manutenção, Lisboa, (Consulta possível na Biblioteca da DN no Alfeite).
- Marinha** (1997), *ILA 5(A) – Instruções para a Organização da Manutenção das Unidades Navais e Outros Meios de Acção Naval*, Estado Maior da Armada, Lisboa, (Consulta possível na Biblioteca da DN no Alfeite).
- Moss, R., Ireseon, W.G., Coombs, C.F.,**(1995), *Handbook of Reliability Engineering And Manangement*, 2ª Edição, Mcgraw-Hill
- O'Connor, P. D.** (2002). *Practical Reliability Engineering*, 3ª Edição, Baffins Lane, Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, England, ISBN 0471-92696-5.

Pinto, C. V. (1999), *Organização e Gestão da Manutenção*, Monitor, 1ª Edição, Monitor, Lisboa, ISBN972-9413-39-8.

Poupa, C., Pereira, C. (2003), *Como escrever uma Tese-monografia ou livro científico usando word*, Sílabo, 2ª ed.

Rausand, M., Hoyland, A. (2004), *System Reliability Theory- Models and Statistical Methods*, 2ª Edição, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-59397-4

Smith, Anthony M. (1993): *Reliability - Centered Maintenance*, McGraw-Hill, United States of America.

Vieira, Sonia (2006), *Manutenção Como escrever uma Tese*, 5ª ed., Rio de Janeiro.

Leite, Adriano Duque Monteiro (1998), *As Modernas Filosofias de Manutenção no Limiar do Novo Milénio*, Manutenção.

Site

<http://www.marinha.pt/PT/amarinha/meiosoperacionais/superficie/classevascodagama/Pages/home.aspx>; Visitado em 01/06/2010

Site <http://forumarmada.no.sapo.pt/docs/FA-Vgama.html> visitado em 03/06/2010;

Site http://www.brasilacademico.com/maxpt/links_goto.asp?id=1788, visitado em 25/05/2010